



TÉCNICAS DE FISIOTERAPIA **RESPIRATORIA:**

PERSPECTIVAS DE PRÁCTICA BASADA
EN LA EVIDENCIA

Nathali Carvajal Tello

Editora científica

VIGILADA
UNIVERSITARIA



EDITORIAL



Cita este libro / Cite this book:

Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2021.

Palabras Clave / Keywords:

Ventilación pulmonar, intercambio gaseoso, fisioterapia respiratoria, técnicas, ejercicios respiratorios, rehabilitación, pruebas de función respiratoria, terapia por inhalación de oxígeno.

Pulmonary ventilation, gas exchange, respiratory physiotherapy, techniques, breathing exercises, rehabilitation, respiratory function tests, oxygen inhalation therapy.

Contenido relacionado:

<https://investigaciones.usc.edu.co/>

TÉCNICAS DE FISIOTERAPIA RESPIRATORIA:

PERSPECTIVAS DE PRÁCTICA BASADA
EN LA EVIDENCIA

*Respiratory physiotherapy techniques:
Evidence-based practice perspectives*

Nathali Carvajal Tello
Editora científica



EDITORIAL

Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia / Nathali Carvajal Tello [Editora Científica]. -- Santiago de Cali: Universidad Santiago de Cali, Sello Editorial, 2022.

362 páginas: ilustraciones; 24 cm.
Incluye referencias bibliográficas.

ISBN Impreso: 978-628-7501-86-7

ISBN Digital: 978-628-7501-87-4

1. Ventilación pulmonar 2. intercambio gaseoso 3. Fisioterapia respiratoria 4. Ejercicios respiratorios I. Nathali Carvajal Tello. Universidad Santiago de Cali.

LC WF145

CO-CaUSC

jrgb/2022



Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia.

© Universidad Santiago de Cali.

© Editora científica: Nathali Carvajal Tello.

© **Autores:** Nathali Carvajal Tello, José Julián Bernal Sánchez, Guillermo Andrés Libreros Mojica, Luz Edith Pérez Trejos, Camilo Alejandro Erazo Escobar, Alejandro Segura Ordóñez, Jacqueline Peña Bartolo, Valentina Sánchez Ospina, Kelly Johana Guzmán Ruiz, Sandra Liliana Caisamo Muñoz, Juan Andrés Laverde Duran, Julián Rodrigo Quinayás Otaya, Laura Yineth Cantoñi Banguero, Lina Verónica Chavarro Aaron, Adriana Sánchez Ruiz, Valeria Camayo Aranda, José Daniel Ríos Colorado, Nicolás Estephen Erazo Velasco y Juan Sebastián Valladales Gutiérrez.

1a. Edición 100 ejemplares.

Cali, Colombia - 2022.

Comité Editorial / Editorial Board

Claudia Liliana Zúñiga Cañón
Edward Javier Ordóñez
Paula Andrea Garcés Constain
Sergio Molina Hincapié
Jonathan Pelegrín Ramírez
Yuriban Hernández
Jhon Fredy Quintero-Uribe
Milton Orlando Sarria Paja
José Fabián Ríos Obando

Proceso de arbitraje doble ciego:

"Double blind" peer-review.

Recepción / Submission:

Agosto (August) de 2021.

Evaluación de contenidos / Peer-review outcome:

Septiembre (September) de 2021.

Correcciones de autor / Improved version submission:

Octubre (October) de 2021.

Aprobación / Acceptance:

Noviembre (November) de 2021.



La editorial de la Universidad Santiago de Cali se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimientos

Acknowledgments

Al programa académico de Fisioterapia de la Universidad Santiago de Cali y al grupo de investigación Salud y Movimiento por brindar su asesoría y apoyo permanente en la realización de este proyecto.

Contenido

Prólogo	11
----------------------	-----------

Introducción	13
---------------------------	-----------

Sección 1. Bases morfofuncionales

Capítulo 1

Anatomía del sistema respiratorio	19
--	-----------

José Julián Bernal Sánchez; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Guillermo Andrés Libreros Mojica; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Luz Edith Pérez Trejos; Universidad del Valle. Cali, Colombia

Capítulo 2

Intercambio de gases en el pulmón	45
--	-----------

Camilo Alejandro Erazo Escobar; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Alejandro Segura Ordóñez; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Capítulo 3

Mecánica de la ventilación pulmonar	73
--	-----------

Jacqueline Peña Bartolo; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Alejandro Segura Ordóñez; Universidad Santiago de Cali, Universidad del Valle. Cali, Colombia

Sección 2. Técnicas de fisioterapia respiratoria

Capítulo 4

Técnicas de desobstrucción bronquial	107
---	------------

Valentina Sánchez Ospina; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Kelly Johana Guzmán Ruiz; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Nathali Carvajal Tello; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Capítulo 5

Técnicas de reexpansión pulmonar	157
---	------------

Sandra Liliana Caisamo Muñoz; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Juan Andrés Laverde Durán; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Alejandro Segura Ordóñez; Universidad Santiago de Cali, Universidad del Valle. Cali, Colombia

Capítulo 6

Técnicas instrumentales de fisioterapia respiratoria 189

Julián Rodrigo Quinayás Otaya; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Laura Yineth Cantoñi Banguero; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Lina Verónica Chavarro Aaron; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Adriana Sánchez Ruiz; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Capítulo 7

Entrenamiento muscular respiratorio 223

Valeria Camayo Aranda; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

José Daniel Ríos Colorado; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Nathali Carvajal Tello; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Sección 3. Otros aspectos de la fisioterapia respiratoria

Capítulo 8

Oxigenoterapia 271

Nicolás Estephen Erazo Velasco; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Juan Sebastián Valladales Gutiérrez; *Escuela Nacional del Deporte*. Cali, Colombia

Nathali Carvajal Tello; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Capítulo 9

Aerosolterapia 309

José Julián Bernal Sánchez; *Universidad Santiago de Cali*. Cali, Colombia

Acerca de los autores 355

Pares evaluadores 359

Table of contents

Foreword	11
-----------------------	-----------

Introduction	13
---------------------------	-----------

Section 1. Morphofunctional bases

Chapter 1

Anatomy of the respiratory system	19
--	-----------

José Julián Bernal Sánchez; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Guillermo Andrés Libreros Mojica; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Luz Edith Pérez Trejos; Universidad del Valle. Cali, Colombia

Chapter 2

Gas exchange in the lung	45
---------------------------------------	-----------

Camilo Alejandro Erazo Escobar; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Alejandro Segura Ordóñez; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Chapter 3

Mechanics of pulmonary ventilation	73
---	-----------

Jacqueline Peña Bartolo; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Alejandro Segura Ordóñez; Universidad Santiago de Cali, Universidad del Valle. Cali, Colombia

Section 2. Respiratory physiotherapy techniques

Chapter 4

Bronchial unblocking techniques	107
--	------------

Valentina Sánchez Ospina; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Kelly Johana Guzmán Ruiz; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Nathali Carvajal Tello; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Chapter 5

Pulmonary re expansion techniques.....	157
---	------------

Sandra Liliana Caisamo Muñoz; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Juan Andrés Laverde Durán; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Alejandro Segura Ordóñez; Universidad Santiago de Cali, Universidad del Valle. Cali, Colombia

Chapter 6

Instrumental techniques respiratory physiotherapy..... 189

Julián Rodrigo Quinayás Otaya; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Laura Yineth Cantoñi Banguero; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Lina Verónica Chavarro Aaron; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Adriana Sánchez Ruiz; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Chapter 7

Respiratory muscle training..... 223

Valeria Camayo Aranda; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

José Daniel Ríos Colorado; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Nathali Carvajal Tello; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Section 3. Other aspects of respiratory physiotherapy

Chapter 8

Oxygen therapy..... 271

Nicolás Estephen Erazo Velasco; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Juan Sebastián Valladales Gutiérrez; Escuela Nacional del Deporte . Cali, Colombia

Nathali Carvajal Tello; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Chapter 9

Aerosol therapy 309

José Julián Bernal Sánchez; Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

About the Authors 355

Peer Evaluators 359

Prólogo

Foreword

El libro *Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia*, recopila las principales técnicas de fisioterapia respiratoria para el abordaje integral de los pacientes con deficiencias en el sistema cardiovascular pulmonar, proporcionando al lector las herramientas necesarias para llevar a cabo intervenciones sustentadas en la evidencia científica. Ha sido un trabajo colaborativo, de mucho esfuerzo por parte de los autores, que busca que el lector, bien sea estudiante en formación o profesional en fisioterapia, logre alcanzar de una manera clara y sencilla, los conceptos teóricos que le permitan desarrollar destrezas y habilidades en la adquisición de competencias prácticas desde la intervención en fisioterapia cardiopulmonar.

Nathali Carvajal Tello

Editora Científica
Programa Académico de Fisioterapia
Universidad Santiago de Cali

Introducción

Introduction

El presente libro nace desde el Programa Académico de Fisioterapia de la Universidad Santiago de Cali y surge desde la necesidad de los fisioterapeutas en formación y fisioterapeutas profesionales que requieren profundizar sus conocimientos y desarrollar competencias específicas en los procesos de intervención en la fisioterapia respiratoria basada en la evidencia científica.

Los ejercicios y técnicas en fisioterapia respiratoria tienen como objetivos mantener y mejorar los volúmenes y las capacidades pulmonares, disminuir la disnea, aumentar la tolerancia al ejercicio, mantener la vía aérea permeable, fortalecer la musculatura respiratoria, lo que favorece en mejorar la calidad de vida de los pacientes con algún tipo de factor de riesgo o deficiencias a nivel del sistema cardiovascular pulmonar.

La fisioterapia respiratoria se fundamenta en el modelo teórico cinesiológico de Sahrman, el sistema de movimiento de la Asociación Americana de Terapia Física (APTA) y el modelo del transporte de oxígeno. En el 2006 Shirley Sahrman describen el modelo cinesiológico, en donde consideran que el movimiento es un sistema compuesto por varios elementos, cada uno con un propósito básico y único para la función y regulación del movimiento; se analiza este modelo sobre la base de cómo debe entenderse el movimiento del músculo esquelético y cómo actúan los sistemas anatómicos y fisiológicos en este proceso. Entre estos elementos están: el elemento base, el elemento modulador, el biomecánico y el de sostén. En especial el elemento de sostén comprende los sistemas cardiovascular, pulmonar y metabólico, el cual es fundamental por que provee los nutrientes y sustancias requeridas para movimiento corporal humano, que es el objeto de estudio de la fisioterapia.

El sistema de movimiento tal como lo acoge la Asociación Americana de Terapia Física (APTA), es un sistema compuesto por sistemas orgánicos fisiológicos que interactúan para producir movimiento del cuerpo o de sus partes, señalando como elementos importantes en la colección de sistemas, el cardiovascular, pulmonar, endocrino, tegumentario, nervioso y musculo esquelético. Visto el sistema de movimiento como el fundamento para optimizar el movimiento, en donde para su reconocimiento y validación es esencial la completa comprensión de la función fisiológica y el potencial del cuerpo humano.

El modelo de transporte de oxígeno brinda una base conceptual fundamental para el ejercicio de la fisioterapia cardiovascular y pulmonar; el oxígeno es esencial para la vida ya que aporta a las células la energía para su desarrollo y funcionamiento, como proveedor de nutrientes y sustancias necesarias para brindar a los demás sistemas corporales como el musculo esquelético y el neurológico, permitiendo que estos pueda ejecutar sus acciones. Cuando se encuentra deficiencia en el transporte de oxígeno es prioridad de los profesionales en fisioterapia establecer estrategias de intervención para su tratamiento.

El libro *Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia* consta de nueve capítulos, distribuidos en tres secciones, los cuáles se describen a continuación:

En la **sección 1** se encuentran las bases morfo funcionales como lo son la anatomía, el intercambio de gases en el pulmón y la mecánica de la ventilación pulmonar, los cuales son temas fundamentales para el entendimiento de cada una de las técnicas en fisioterapia respiratoria. La **sección 2** incluye las técnicas de fisioterapia respiratoria en donde se destacan: las técnicas de desobstrucción bronquial, las técnicas de reexpansión pulmonar e instrumentales y el entrenamiento muscular respiratorio. Por último, en la **sección 3** se abarcan otros aspectos de la fisioterapia del tórax, en donde se describen técnicas relevantes como la oxigenoterapia y la aerosolterapia.

El primer capítulo se denomina *Anatomía respiratoria* y describe las estructuras anatómicas que comprenden el sistema respiratorio clasificado en la vía aérea superior, que incluye: nariz, cavidad nasal, senos paranasales, faringe y la vía aérea inferior en donde se mencionan la laringe, bronquios, pulmones y pleura.

El segundo capítulo se llama *Intercambio de gases en el pulmón*, dentro de sus subtemas se encuentran conceptos de presión barométrica, presión parcial de gases, leyes físicas relacionadas con la función respiratoria, conceptos de ventilación, difusión, intercambio gaseoso y transporte de oxígeno.

En el tercer capítulo *Mecánica de la ventilación pulmonar*, se encuentra la descripción de los músculos que participan en los procesos de inspiración y espiración en condiciones estáticas y dinámicas, conceptos de distensibilidad y elasticidad, ciclo respiratorio y los volúmenes y capacidades pulmonares.

El cuarto capítulo describe las técnicas de desobstrucción bronquial, cuyo principal objetivo es mantener la vía aérea permeable, a través de la eliminación efectiva de las secreciones bronquiales; diferencia las técnicas de la escuela anglosajona y la europea; para cada una de dichas técnicas, se describen las formas de realización en cuanto a posición del paciente y el fisioterapeuta, contactos manuales, comandos verbales, indicaciones, contraindicaciones y la evidencia científica de cada una de las técnicas.

El quinto capítulo trata de las técnicas de reexpansión pulmonar, en donde su principal objetivo es mantener y mejorar volúmenes y capacidades pulmonares, se destacan las técnicas manuales no instrumentales como los patrones musculares respiratorios, la técnica de inspiración profunda, el ejercicio de débito inspiratorio controlado (EDIC) y el ciclo activo de la respiración.

El sexto capítulo describe las técnicas instrumentales en fisioterapia respiratoria, en donde se implementan equipos terapéuticos específi-

cos para la desobstrucción bronquial, tales como: el Flutter, Acapella, RC- Cornet, mascara PEP, Thera PEP y para la reexpansión pulmonar el inspirómetro de incentivo, tanto de flujo como de volumen.

El séptimo capítulo se denomina *Entrenamiento muscular respiratorio* (EMR); el objetivo de esta técnica es mejorar la resistencia y la fuerza de la musculatura respiratoria que favorezca la mejoría de la capacidad aeróbica y tolerancia al ejercicio. En este capítulo, se describen conceptos de disfunción, fatiga muscular, fuerza, resistencia, indicaciones y contraindicaciones del EMR, métodos de evaluación y de entrenamiento de la fuerza muscular respiratoria, con sus respectivos dispositivos.

El octavo capítulo, *Oxigenoterapia*, detalla la implementación del oxígeno como estrategia terapéutica, describiendo conceptos como la hipoxia e hipoxemia, indicaciones, contraindicaciones, complicaciones de la administración de oxígeno, así como los métodos de evaluación de la oxigenación y los métodos de suministro de oxígeno en donde se encuentran los sistemas de bajo y alto flujo y se describen sus aportes, ventajas y desventajas.

El noveno capítulo, *Aerosolterapia*, describe las indicaciones, contraindicaciones y precauciones de la administración de aerosoles con fines terapéuticos a nivel del sistema respiratorio, e incluye los sistemas de administración, como los nebulizadores de pequeño volumen, nebulizador ultrasónico, inhaladores de dosis medida (IDM) e inhaladores de polvo seco (IPS).

Nathali Carvajal Tello

Editora Científica
Programa Académico de Fisioterapia
Universidad Santiago de Cali



SECCIÓN 1

Bases
Morfofuncionales

Section 1. Morphofunctional bases



Capítulo 1

Anatomía del sistema respiratorio

Anatomy of the respiratory system

Guillermo Andrés Libreros Mojica

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-6266-0317>

✉ guillermo.libreros00@usc.edu.co

Luz Edith Pérez Trejos

Universidad del Valle. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-7907-7339>

✉ luz.perez@correounivalle.edu.co

José Julián Bernal Sánchez

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-9708-8536>

✉ jose.bernal00@usc.edu.co

Resumen

Introducción: La anatomía es el estudio de la estructura del cuerpo y es considerada una de las ciencias básicas médicas más antiguas y fundamentales para la formación de profesionales de la salud. Este capítulo permite recopilar información relevante sobre la anatomía del sistema respiratorio. De acuerdo a algunos autores, el sistema respiratorio está compuesto por los conductos aéreos y los pulmones, los cuales suministran oxígeno a la sangre para la respiración celular y eliminan el dióxido de carbono. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica actualizada de libros de texto fundamentales de anatomía. **Resultados:** Los autores de este capítulo, realizaron

Cita este capítulo / Cite this chapter

Libreros Mojica GA, Bernal Sánchez JJ, Pérez Trejos LE. Anatomía del sistema respiratorio. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 19-43.

una descripción sistemática, concreta y organizada de cada una de las estructuras que componen el sistema respiratorio. De igual manera, los apartados están ilustrados con imágenes que acompañan la lectura y orientan visualmente, así como espacialmente las estructuras mencionadas. **Conclusiones:** Para el estudio de las ciencias de la salud, especialmente, la fisioterapia respiratoria, se hace fundamental la integración de estos conceptos para la atención inicial del paciente y para el entendimiento de las condiciones de salud específicas encontradas. De igual manera, estos conceptos soportarán las técnicas y estrategias utilizadas para el manejo terapéutico específico del sistema respiratorio.

Palabras clave: anatomía, sistema respiratorio, nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos, tráquea, pulmón, pleura.

Abstract

Introduction: Anatomy is the study of the structure of the body and is considered one of the oldest basic medical sciences and fundamental for the training of health professionals. This chapter allows to compile from relevant information about the anatomy of the respiratory system. According to some authors, the respiratory system is composed of the air passages and the lungs, which supply oxygen to the blood for cellular respiration and eliminate carbon dioxide. **Materials and methods:** An updated bibliographic review of fundamental anatomy textbooks was performed. **Results:** The authors of this chapter made a systematic, concrete and organized description of each of the structures that compose the respiratory system. Likewise, the sections are illustrated with images that accompany the reading and orient visually, as well as spatially the structures mentioned. **Conclusions:** For the study of health sciences, especially respiratory physiotherapy, the integration of these concepts is essential for the initial care of the patient and for the understanding of the specific health conditions encountered. Likewise, these concepts will support the techniques

and strategies used for the specific therapeutic management of the respiratory system.

Keywords: anatomy, respiratory system, nose, pharynx, larynx, trachea, bronchi, bronchioles, trachea, lung, pleura.

Introducción

Este capítulo denominado *Anatomía del sistema respiratorio*, está orientado a la descripción de las estructuras anatómicas del sistema respiratorio; inicia con las generalidades del sistema respiratorio que incluyen las características histológicas regionales de la vía aérea, posteriormente se detallan las estructuras que forman parte de la vía aérea superior que incluye nariz y que comprende: nariz externa, cavidad nasal, los senos paranasales que se clasifican en maxilar, frontal, esfenoidal, etmoidal, y la faringe con sus partes nasofaringe, orofaringe y laringofaringe.

Así como, las estructuras de la vía aérea inferior dentro de las que se encuentran la laringe con la descripción de los seis cartílagos, tres de ellos impares que son: el cartílago epiglotis, el cartílago tiroideo y el cartílago cricoideo; tres de ellos son pares que comprenden: los aritenoides, los corniculados y los cuneiformes. Además, se describen los músculos laríngeos: cricotiroideo, cricotiroideo posterior y lateral, tiroaritenoides, vocal, tiroepiglótico, aritenoides transversos, aritenoides oblicuos. La tráquea con su bifurcación llamada carina en los bronquios principales derecho e izquierdo.

Los bronquios con su segmentación bronquial derecha que va a los lóbulos superior, medio e inferior, y el izquierdo para los lóbulos superior e inferior del pulmón. Posteriormente se describe la subdivisión en bronquiolos y el acino pulmonar que incluye cuatro estructuras anatómicas de importancia para el proceso de intercambio gaseoso que son los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos.

La última parte del capítulo presenta los pulmones con sus características anatómicas relevantes, ápex, caras, base, cisuras y la pleura clasificada como visceral y parietal.

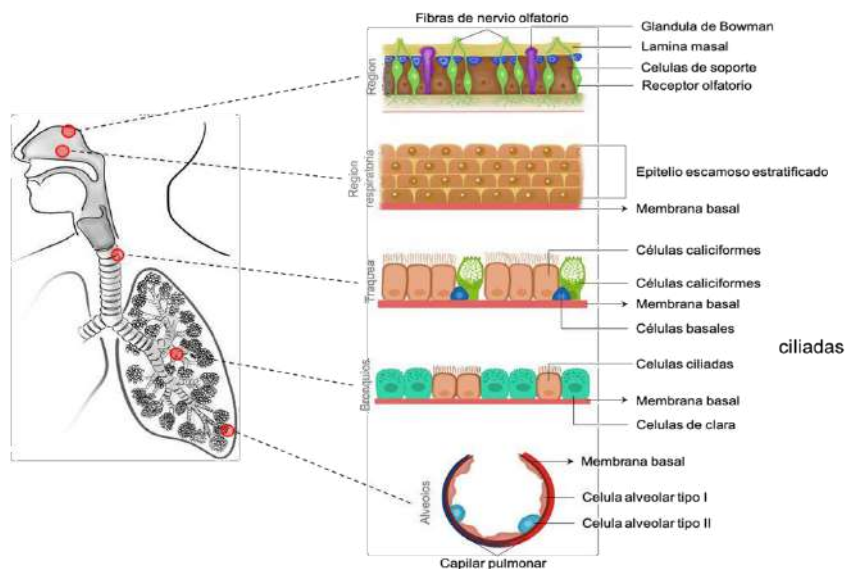
Generalidades del sistema respiratorio

El sistema respiratorio está conformado por estructuras encargadas del transporte e intercambio de gases entre el exterior y la sangre. El oxígeno ingresa al cuerpo para ser distribuido a los tejidos, mientras que el dióxido de carbono que se produce durante el metabolismo celular, es eliminado hacia exterior.

Otras funciones importantes son la termorregulación, la humectación y la descontaminación del aire inspirado. El recorrido del aire comienza en la nariz y pasa por diversas estructuras anatómicas hasta llegar a los pulmones, en los cuales se realiza el intercambio gaseoso a través de las delgadas paredes de los alvéolos, por lo que funcionalmente se dividen en vía aérea superior y vía aérea inferior.

Los componentes presentan algunas características comunes, tales como la presencia de un epitelio de revestimiento con cilios y células (figura 1), que sirven para humedecer el aire inspirado y también para limpiar y englobar respectivamente los gérmenes o partículas extrañas que llegan a penetrar en las vías respiratorias (1).

Figura 1. Características histológicas regionales de la vía aérea.



Fuente: Adivitiya; Kaushik, M.S.; Chakraborty, S.; Veleri, S.; Kateriya, S. Mucociliary Respiratory Epithelium Integrity in Molecular Defense and Susceptibility to Pulmonary Viral Infections. Biology 2021, 10, 95. <https://doi.org/10.3390/biology10020095>.

A continuación, en la tabla 1 se describen las características regionales del epitelio característico del sistema respiratorio.

Tabla 1. Características regionales de la vía aérea.

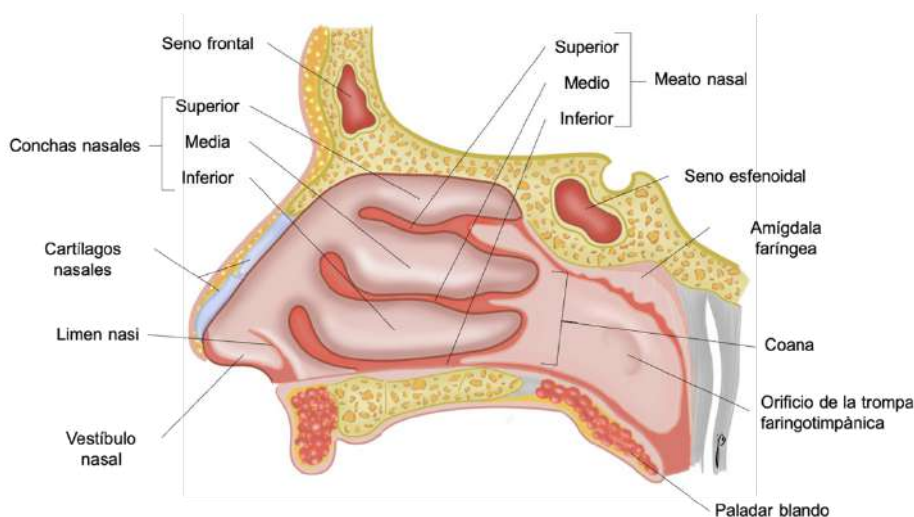
	REGIÓN RESPIRATORIA	TRÁQUEA	BRONQUIOS	ALVÉOLOS
MUCOSA	Revestida por epitelio escamoso estratificado	Está revestida por epitelio pseudo estratificado cilíndrico ciliado con células caliciformes	El epitelio pasa de pseudo estratificado cilíndrico ciliado con células caliciformes a simple cilíndrico ciliado. Dentro de los diferentes tipos celulares destacan las células ciliadas y las células clara.	La superficie interna de los alvéolos está revestida por dos tipos fundamentales de células: alveolares epiteliales planas (tipo I) y alveolares grandes (tipo II)
DIÁMETRO	3 cm	2.5 cm	1.5 cm	0.3 mm

Fuente: Elaboración propia.

Vía aérea superior

La vía aérea superior está conformada por la nariz y la faringe, esta última a su vez se clasifica en orofaringe, nasofaringe y laringofaringe. A nivel nasal se modifica el aire antes de que llegue a los pulmones, cambia la temperatura y lo filtra para reducir la contaminación (figura 2).

Figura 2. Pared lateral de la cavidad nasal.



Fuente: Elaboración propia.

Toda el área respiratoria está revestida por una mucosa gruesa que posee el epitelio respiratorio, que se encuentra sobre una membrana basal y se apoya en una lámina propia, la cual contiene glándulas mucosas y serosas, y células propias del tejido conjuntivo como linfocitos y macrófagos. Esta lámina propia se adhiere bien al hueso o al cartílago situado por debajo; debido a esto es frecuente que en cirugía llamen a la mucosa de esta región mucoperiostio y mucopericondrio (2).

La superficie del epitelio está recubierta normalmente de mucus procedente de las células caliciformes y de las glándulas de su lámina propia. La mucosa produce aproximadamente medio litro de líquido

en 24 horas. El mucus y las partículas de polvo son desplazados hacia atrás por el movimiento ciliar que posee el epitelio; de esta manera, son deglutidos o expectorados. Cada célula ciliada posee de 15 a 20 pestañas vibrátiles de unos 7 μm de alto (2).

Nariz

La nariz es la parte superior del sistema respiratorio y varía en tamaño y forma en cada persona; a continuación se describe la nariz externa, la cavidad nasal y los senos paranasales (2).

Nariz externa

Se representa de forma triangular y sobresale de la cara, está unida a ella a través de la raíz que se ubica entre las dos órbitas, la raíz se continua hacia abajo con el dorso o puente de la nariz, hasta llegar al ápex. En la base de la nariz se encuentran las narinas separadas por el septo nasal en la línea media y la porción lateral denominada ala nasal (2).

Las estructuras que conforman la nariz son osteo cartilaginosas, la parte superior corresponde a los huesos nasales derecho e izquierdo articulados entre sí en la línea media y con los procesos frontales de la maxila lateralmente. Se continúa hacia abajo con los cartílagos nasales de tejido fibroso, el **cartílago lateral** se une arriba al hueso nasal y a la maxila lateralmente, en la línea media se une al cartílago del lado contrario y así forman el dorso de la nariz. El **cartílago alar mayor** presenta forma elíptica o de U formando el ala de la nariz. Adicionalmente, se encuentran pequeños cartílagos llamados **nasales accesorios y alares menores** (2).

Cavidad nasal

En el interior de la nariz se encuentra el tabique nasal que es parcialmente óseo y parcialmente cartilaginoso, divide la cavidad nasal en dos partes llamadas fosas nasales. El componente óseo del tabique

nasal está formado por la lámina perpendicular del hueso etmoides y por el vómer, los cuales se articulan y en la línea media separa a las fosas nasales. La porción cartilaginosa está formada por cartílago hialino denominado cartílago septal. En la porción anterior por detrás de las narinas se observa una dilatación que corresponde al vestíbulo nasal, que contiene gran cantidad de glándulas sebáceas y pelos que se denominan **vibrisas**, que son las encargadas de limpiar el aire de partículas de polvo. En las paredes laterales se pueden identificar las conchas superior, media e inferior con revestimiento de mucosa que se conocen como **cornetes** (figura 2) y entre ellos los meatos nasales, que corresponden a los espacios delimitados entre una fosa y la inmediatamente inferior. En la parte posterior **las coanas** se abren a la faringe (2).

Senos paranasales

Los senos paranasales son excavaciones neumáticas que se encuentran en los huesos que ayudan a formar las paredes de la cavidad nasal; contienen aire y están cubiertos por mucosa que produce secreción la cual es drenada a través de orificios ubicados en las paredes laterales de la cavidad nasal hacia los **meatos**. Los senos paranasales son el seno maxilar, el seno frontal, el seno esfenoidal y el seno etmoidal o celdillas etmoidales (anteriores, medias y posteriores) (2).

El **seno maxilar** es el más grande, está ubicado en el cuerpo de la maxila y tiene forma piramidal, en la pared medial desemboca en el meato medio a través del orificio del seno maxilar.

El **seno frontal** se ubica posterior al arco superciliar en el cuerpo del hueso frontal por arriba del techo de la órbita, son dos separados por un septo y drenan a través del orificio del seno frontal, hacia el infundíbulo etmoidal drenando al meato medio.

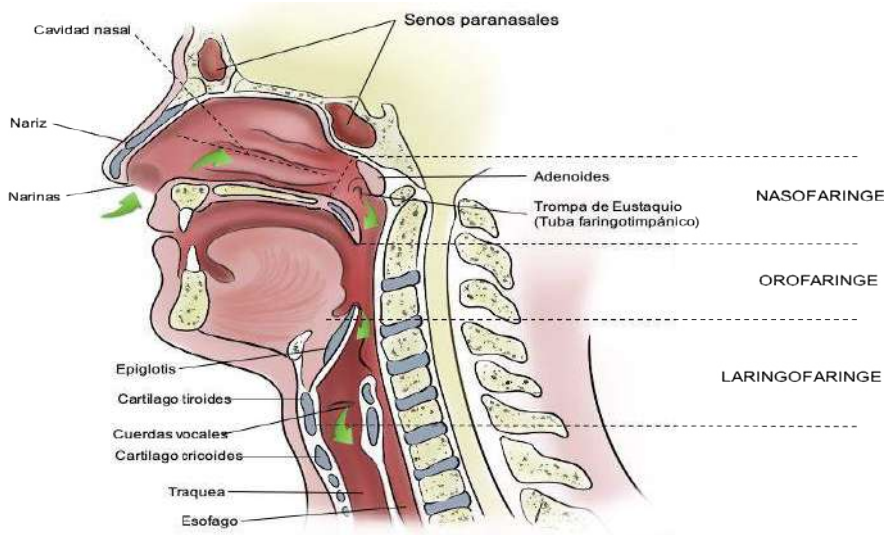
El **seno esfenoidal** se ubica en la parte posterior de la cavidad nasal, son dos senos separados por un septo en el cuerpo del hueso esfenoides, se abre en el receso esfenoidal para drenar al meato superior.

El **seno etmoidal** o **celdillas etmoidales** se conforma por numerosas cavidades ubicadas en la parte superior de la cavidad nasal que se clasifican en anteriores, medias y posteriores; las anteriores y las medias drenan al meato medio y las posteriores al meato superior.

Faringe

La faringe es un tubo músculo membranoso que mide entre 12 y 15 cm de longitud, se extiende por delante de la columna cervical y por detrás de la cavidad nasal, oral y laringea, desde la base del cráneo hasta el nivel del cuerpo C6 donde se continúa con el esófago (figura 3). La comunicación con las cavidades antes mencionadas permite dividirla en: parte nasal o nasofaringe, parte oral u orofaringe y parte laríngea o laringofaringe (3).

Figura 3. Vía aérea superior (vista lateral).



Fuente: Elaboración propia.

Nasofaringe: Por nasofaringe se entiende el tramo comprendido entre la base del cráneo y el paladar blando. Hacia la parte posterior está al nivel de C1 y por anterior se comunica con la cavidad nasal a

través de las coanas. Tiene dos estructuras de importancia: **el orificio faríngeo de la trompa (tuba) auditiva**, que se encuentra en la pared lateral, y la **tonsila tubárica** (adenoides) que corresponde a un tejido linfoide presente en la pared posterior y que va involucionando con la edad. En caso de aumento de tamaño de este tejido, se produce una obstrucción parcial de la vía aérea y dificulta el paso de tubos nasotraqueales.

Orofaringe: La orofaringe se extiende desde el paladar blando hasta el borde superior de la epiglotis. En la parte posterior están los cuerpos de C2 y C3 y anterior se abre hacia la cavidad oral a través del istmo de las fauces, y toma contacto con el tercio posterior de la lengua. Lateralmente se encuentran las tonsilas palatinas (amígdalas) y sus pilares. Las paredes de la orofaringe no son rígidas, por lo que colapsan ante el desarrollo de presiones negativas o disminución en el tono muscular de las estructuras que la forman.

Laringofaringe: Constituye la porción más distal de la faringe y comprende el segmento que está entre el borde superior de la epiglotis y el borde inferior del cartílago cricoides entre los segmentos IV, V y VI de las vértebras cervicales. Se comunica con la laringe a través de la abertura superior o ádito laríngeo, a cada lado se ubican los **recesos piriformes** (3).

Vía aérea inferior

Se habla de vía aérea inferior a partir del vestíbulo laríngeo hasta la porción más distal del árbol bronquial que comprende los alvéolos, donde se realiza el proceso de intercambio gaseoso con la red capilar con la que se relaciona, función que es trascendente para el metabolismo celular. La vía aérea inferior está conformada por la laringe, la tráquea, los bronquios, los bronquiolos y los alvéolos (4).

Laringe

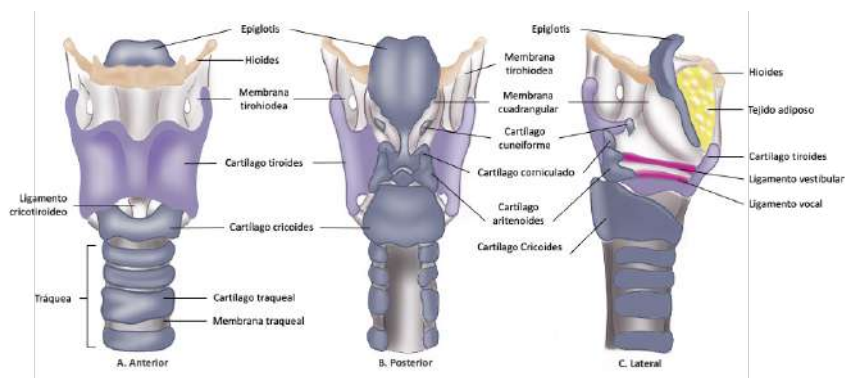
La laringe es una estructura semirrígida conformada por cartílagos articulados entre sí y reforzados por ligamentos, conecta la faringe con la tráquea y es importante para evitar la entrada de materiales extraños hacia el árbol bronquial. A su vez, la laringe contribuye en funciones de fonación y deglución gracias a la contracción de músculos esqueléticos que modifican la posición de los cartílagos que sirven de punto de inserción de los mismos.

La laringe tiene una posición anterior y mediana en el cuello, las medidas varían con la edad y el sexo, en el niño recién nacido su longitud aproximada es de 2 cm, mientras que en adultos mide 5 cm de longitud aproximadamente, siendo mayores las dimensiones en el hombre que en la mujer. La laringe se proyecta a nivel de la CIII o CIV y CVI.

La laringe se sitúa por debajo del hueso hioides, se relaciona por delante con la glándula tiroidea, los músculos infrahioides, la fascia cervical y la piel. Por detrás se relaciona con la laringofaringe con la musculatura prevertebral y los cuerpos de las vértebras. A los lados se relaciona con los vasos y nervios del cuello.

Su estructura consta de seis cartílagos tres son impares y tres pares, que tienen como función darle soporte estructural a la laringe. Los impares son: el cartílago epiglotis, el cartílago tiroideo y el cartílago cricoideo. Los cartílagos pares son: aritenoides, los corniculados y los cuneiformes (figura 4) (4).

Figura 4. Cartílagos laríngeos (vista anterior, vista posterior, vista lateral corte sagital).



Fuente: Elaboración propia.

Cartílago epiglótico o epiglotis: Tiene forma de hoja, está constituido por un cartílago elástico y situado por detrás de la raíz de la lengua y del hueso hioides. Se describe una cara anterior y una posterior, un extremo superior más ancho y redondo y un extremo inferior más angosto que corresponde al **pecíolo** de la epiglotis. Por delante, se relaciona con el hueso hioides, con la cara incisura tiroidea posterior y con el dorso de la lengua a través de los pliegues glosopiglóticos mediano y laterales. Hacia atrás se relaciona con los cartílagos aritenoides por el pliegue aritenopiglótico, delimitando el borde superior del orificio laríngeo.

Cartílago tiroideo: Es el más grande de los cartílagos laríngeos y está conformado por 2 láminas cuadriláteras de cartílago hialino que se fusionan por delante en la línea media y forman un ángulo casi recto en el hombre, pero más abierto en la mujer. En el borde superior, parte mediana, forma la **prominencia laríngea** o nuez de Adán, que es más marcada en los hombres, es el ángulo de unión de las láminas. Por su borde superior se une al cuerpo y a los cuernos mayores del hueso hioides, a través de la **membrana tirohioidea** que está reforzada en la línea media por el **ligamento tirohioideo mediano** y a los lados por los **ligamentos tirohioideos laterales**, en los que gene-

ralmente se ubican unos cartílagos inconstantes denominados cartílagos triticeos. El borde posterior de cada lámina se proyecta hacia arriba como cuerno **superior** y hacia abajo como **cuerno inferior**; los cuernos inferiores se articulan con el cartílago cricoides constituyendo la articulación cricotiroides.

Cartílago cricoideo: Es el más inferior de los cartílagos laríngeos y tiene forma de anillo de sello con el arco anterior y la lámina gruesa hacia atrás. Está formado por cartílago hialino y es más pequeño que el cartílago tiroides pero más grueso y fuerte. En la parte posterior, el borde superior de la lámina se une con la base de los cartílagos aritenoides, articulación que permite movimiento de rotación y deslizamiento de los aritenoides sobre el cricoideo. El borde superior del arco se articula con el borde inferior del cartílago tiroides, por el **ligamento cricotiroides** o **membrana cricotiroides** y el borde inferior se articula con el primer anillo traqueal.

Cartílago aritenoides: Son dos cartílagos constituidos por el cartílago hialino, presenta forma de pirámide triangular y se articula por su base con el cartílago cricoides. En el ápex ubicado superior se unen los cartílagos corniculados. La base presenta dos procesos, **el proceso vocal** antero medial y el **proceso muscular** postero lateral para dar inserción a músculos y ligamentos. En cada uno de los procesos vocales se inserta un ligamento denominado **ligamento vocal**, que forman las llamadas cuerdas vocales.

Cartílago corniculado: Son cartílagos pares en forma de nódulos, formados por cartílago elástico. Los cartílagos corniculados están unidos a los ápex de las aritenoides y son como una prolongación de estos.

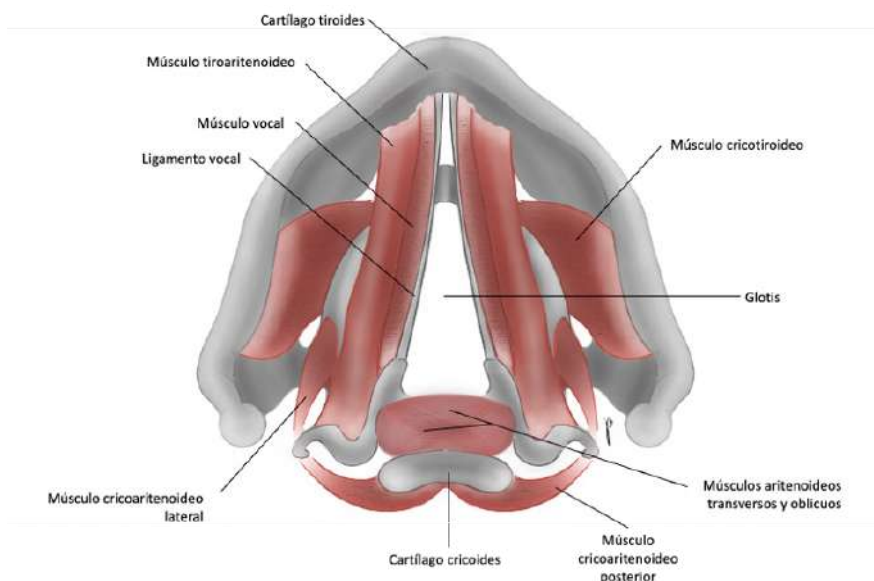
Cartílago cuneiforme: Los cartílagos cuneiformes se encuentran en el espesor de los pliegues arriepiglóticos de cada lado. Estos cartílagos se aproximan cuando se cierra el orificio de entrada a la laringe en el momento de deglutir (5).

Músculos de la laringe

Se dividen en un grupo intrínseco y otro extrínseco. Los músculos extrínsecos pertenecen en su mayoría a la región del cuello y su acción no es explícita a la laringe, entre esos están los músculos suprahioideos y el estilofaríngeo que suben el hueso hioides y la laringe y los infrahioideos que lo descienden; esos movimientos se presentan generalmente durante la deglución; los músculos extrínsecos no serán explicados en este apartado. Los intrínsecos se insertan en la cara interna de la laringe y tienen básicamente dos funciones: abrir y cerrar la glotis, y tensar las cuerdas vocales (5).

Los músculos intrínsecos tienen el nombre según su origen e inserción, se sobreponen para producir las tres acciones principales de la laringe que son abrir la glotis, cerrar la glotis y tensionar las cuerdas vocales, funciones que se describen a continuación con cada músculo (figura 5).

Figura 5. Músculos laríngeos.



Fuente: Elaboración propia.

Músculo cricotiroides: Es de forma triangular y se sitúa en la parte anterior e inferior de la laringe y cada músculo del lado correspondiente presenta dos partes, una recta y otra oblicua. Ambas porciones se originan en la cara anterolateral del arco del cartílago cricoideo y en cuanto a la inserción, la parte recta se inserta en el borde inferior de la lámina del cartílago tiroideo y la parte oblicua se inserta en el cuerno inferior del cartílago tiroideo. Su acción principal es tensar y aducir los pliegues vocales.

Músculo cricoaritenoides posterior: Desde una vista posterior de la laringe, el músculo cricoaritenoides posterior se origina en la cara posterior de la lámina cricoidea y se inserta en el proceso muscular del cartílago aritenoides. La acción es tensar y abducir los pliegues vocales.

Músculo cricoaritenoides lateral: Se ubica por dentro de la lámina del cartílago tiroideo originándose en el arco del cartílago cricoideo e insertándose en el proceso muscular del cartílago aritenoides. Su acción es aducir los pliegues vocales.

Músculo tiroaritenoides: Se sitúa lateral al pliegue vocal y se origina en la cara posterior del ángulo de la lámina del cartílago tiroideo, se inserta en la cara antero lateral del cartílago aritenoides. La función es relajar y aducir los pliegues vocales.

Músculo vocal: En ocasiones se fusiona con algunas fibras del músculo tiroaritenoides. Se origina en la cara posterior cerca a la línea media de la lámina del cartílago tiroideo, se inserta en el proceso vocal del cartílago aritenoides. Su función es tensar los pliegues vocales.

Músculo tiroepiglótico: Son fibras que se prolongan hacia el pliegue ariepiglótico, su origen es en la cara posterior de la lámina del cartílago tiroideo y su inserción en el borde lateral del cartílago epiglótico. La acción de este músculo es dilatar el adito laríngeo.

Músculo aritenoides transversos: Se origina en la cara posterior de un cartílago aritenoides y alcanza la cara posterior del cartílago

contralateral. Es constrictor de la porción posterior de la rima de la glotis.

Músculo aritenoides oblicuo: Su origen se da en el proceso muscular del cartílago aritenoides y se inserta en el ápex del cartílago aritenoides contralateral. Es constrictor del adito laríngeo.

La abertura de la glotis sucede a nivel de los pliegues vocales. Durante la inspiración normal, los pliegues vocales están abducidos y la rima de la glotis tiene forma triangular. El diámetro sagital promedio de la glotis es de 23 mm en el hombre y de 17 mm en la mujer. La distancia entre el proceso vocal cuando los pliegues están abducidos es aproximadamente de 19 mm en el hombre y 12 mm en las mujeres. Durante la inspiración forzada, los pliegues vocales están abducidos al máximo y la forma triangular de la glotis se convierte en una forma de diamante. Así la intubación con el paciente despierto se facilita cuando este inspira profundamente. En la espiración los pliegues vocales están aducidos, dejando una abertura pequeña entre ellas facilitando así la fonación.

El cierre de la glotis puede ocurrir en tres niveles diferentes: a nivel de los pliegues vocales (cierre de la rima glotis), a nivel de los pliegues vestibulares (cierre del surco vestibular) y a nivel de los pliegues ariepiglóticos (cierre de la apertura laríngea). El reflejo del cierre glótico protege el árbol bronquial del paso de sólidos y líquidos. Este reflejo ocurre por estimulación de los nervios laríngeos superiores (6).

Inervación de la laringe

La inervación de la laringe está garantizada por los nervios laríngeos superiores y laríngeos recurrentes, ambas ramificaciones del nervio vago. **El nervio laríngeo superior** se divide a nivel del hueso hioides en dos ramos, un ramo interno y un ramo externo. El ramo interno perfora la membrana tirohioidea para luego dividirse en ramos superiores e inferiores, llevando información sensitiva. Los ramos su-

periores inervan la vallecula, la superficie posterior de la epiglotis y los recesos piriformes. Los ramos inferiores llevan la sensibilidad a los pliegues vocales. Algunos de sus ramos terminales se unen con ramos ascendentes del nervio laríngeo recurrente homolateral. El ramo externo del nervio laríngeo superior lleva información motora al músculo cricotiroides (6).

La inervación sensitiva de la superficie anterior de la epiglotis está dada por el nervio glossofaríngeo. El nervio laríngeo recurrente provee inervación a todos los músculos intrínsecos a excepción del cricotiroides. El laríngeo recurrente también suplente la sensibilidad de la membrana mucosa debajo de los pliegues vocales y la mucosa traqueal. Los nervios laríngeos recurrentes envían ramos comunicantes a los plexos cardíacos y aórticos. Estas comunicaciones explican en parte los cambios hemodinámicos que se producen durante la manipulación de la vía aérea (6).

Hueso hioides

Es un hueso en forma de U, no presenta articulación con otro hueso y sólo está sostenido por músculos y ligamentos. Está constituido por un cuerpo que se ubica anteriormente, dos cuernos mayores uno proyectado postero superiormente a cada lado y dos cuernos menores que se forman a nivel de la unión entre el cuerpo y los cuernos mayores y se dirigen hacia arriba. El hueso hioides sostiene la laringe a través de la membrana tirohioidea y de los músculos que se insertan en su cara interna. Se sitúa a nivel de C3.

Tráquea

La tráquea es un conducto semicircular fibromuscular cartilaginoso, por donde circula el aire inspirado y espirado, inicia a partir de la laringe por debajo del cartílago cricoides y llega al tórax a nivel de TVI o TVII en el mediastino superior. En el adulto la tráquea tiene una longitud aproximada de 15 cm, un diámetro transversal aproximado de entre 1,2 cm y 1,1 cm de diámetro anteroposterior. Su principal

función es transportar aire hacia los pulmones. Posee un segmento cervical y uno torácico.

A nivel del cuello se relaciona anteriormente con la glándula tiroides y con los músculos infra hioideos, posteriormente con el esófago y a cada lado con el paquete vascular nervioso formado por la arteria carótida común, la vena yugular interna y el nervio vago (7).

En el tórax al lado derecho está relacionada con el arco de la vena ácigos y el nervio vago derecho, al lado izquierdo se relaciona con el arco aórtico y la arteria subclavia izquierda. Al entrar al tórax se desvía levemente a la izquierda desplazada por la arteria aorta. El último cartílago presenta forma de Y invertida llamado **carina**, a partir de allí se bifurca en bronquio principal derecho y bronquio principal izquierdo (7).

Bronquios

Los bronquios principales derecho e izquierdo se extienden entre la tráquea y el hilio pulmonar del lado correspondiente. Se dividen en bronquios lobulares y luego en bronquios segmentales. Su función aún radica en la conducción y no en el intercambio.

El **bronquio principal derecho** es más corto, vertical y de calibre mayor que el izquierdo, verticalizado y con una longitud aproximada de 2,5 cm, se ubica por detrás de la vena cava y está cruzado por el arco de la vena ácigos que pasa por encima de él. Se divide en bronquios lobular superior, medio e inferior para los tres lóbulos del pulmón derecho. El **bronquio principal izquierdo** es más largo que el derecho, de menor calibre y una distribución más horizontal, la longitud puede alcanzar los 5 cm, se ubica anterior al esófago y está cruzado por el arco aórtico. Se divide en bronquio lobular superior e inferior. Cada uno de los **bronquios lobulares** se divide en **bronquios segmentales** que transportan el aire a un área específica del pulmón (Tabla 2).

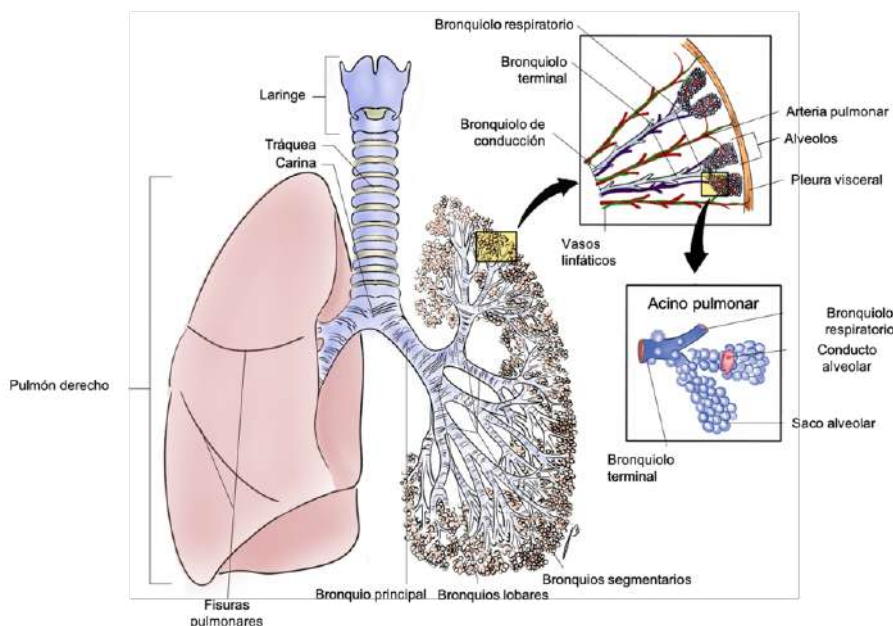
Tabla 2. Segmentación bronquial.

BRONQUIO PRINCIPAL DERECHO			BRONQUIO PRINCIPAL IZQUIERDO	
Bronquio lobular superior	Bronquio lobular medio	Bronquio lobular inferior	Bronquio lobular superior	Bronquio lobular inferior
Bronquio segmental apical o superior (BI).	Bronquio segmental lateral (BIV).	Bronquio segmental apical o superior (BVI).	Bronquio segmental apicoposterior (BI + II).	Bronquio segmental apical o superior (BVI).
Bronquio segmental posterior (BII).	Bronquio segmental medial (BV).	Bronquio segmental basal medial (BVII).	Bronquio segmental anterior (BIII).	Bronquio segmental basal medial (BVII)
Bronquio segmental anterior (BIII).		Bronquio segmental basal anterior (BVIII).	Bronquio segmental lingular superior (BIV).	Bronquio segmental basal anterior (BVIII).
		Bronquio segmental basal lateral (BIX).		Bronquio segmental basal lateral (BIX).
		Bronquio segmental basal posterior (BX).		Bronquio segmental basal posterior (BX).

Fuente: Elaboración propia.

Bronquiolos y alvéolos

La porción respiratoria, distal o inferior, se encuentra ubicada en el interior del tejido pulmonar. Está constituida por estructuras que se encargan principalmente del proceso de **intercambio gaseoso** (Figura 6).

Figura 6. Pulmón y parénquima pulmonar.

Fuente: tomado de Moore, K. L., Agur, A. M., & Dalley, A. F. (2015). Fundamentos de Anatomía con orientación clínica (5a. ed. --). Barcelona: Wolters Kluwer.

Esta porción se encuentra conformada por los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos, estructuras que en conjunto conforman la unidad funcional del sistema respiratorio (**Acino pulmonar**).

Para entender esta porción se debe reconocer distalmente a las bifurcaciones bronquiales que se continúan con las respiratorias, las que a su vez presentan proyecciones laterales correspondientes a **conductos alveolares**.

Luego, por cada conducto alveolar se encuentran alrededor de cinco a seis sacos alveolares. Estos últimos corresponden a racimos de alvéolos, pequeñas cavidades de más o menos 200 micrones (1/5 de mm), que constituyen la **unidad estructural básica de intercambio**

de gases del pulmón. Debido a la presencia de alvéolos en el bronquiolo terminal, desde aquí ya se está implicado el proceso de difusión gaseosa.

Cada bifurcación de los bronquios, bronquiolos y conductos alveolares se acompaña de una rama de la arteria pulmonar, dos tributarias de las venas pulmonares y una rama de la arteria bronquial (8).

Pulmones

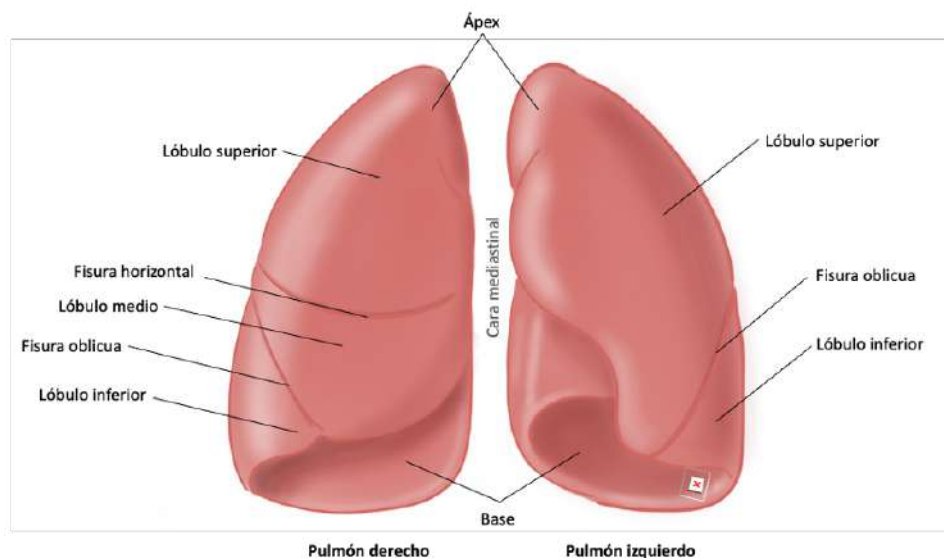
Los pulmones son órganos pares de textura lisa, de color rosado pálido y de consistencia blanda y esponjosa; ubicados en la cavidad torácica constituida por la reja costal, el esternón en la parte anterior y la columna vertebral hacia la posterior. En cada pulmón se describe un ápex superior de forma redondeada, una **base** inferior que está en relación con el diafragma, por lo que se conoce también como cara diafragmática y presenta forma convexa, una **cara costal** que se relaciona con la pared torácica y adopta la forma parcialmente redondeada, una **cara medial** o **mediastinal** donde se localiza el **hilio pulmonar**, que es la región por donde ingresan y salen las estructuras vasculares y bronquiales del pulmón. En la cara mediastinal de ambos pulmones se logra identificar la impresión cardíaca, siendo mayor en el pulmón izquierdo por la posición anatómica del corazón. El **borde anterior** es delgado y separa la cara costal de la cara mediastinal y el **borde inferior** separa la base de las caras costal y mediastinal.

Los pulmones no son órganos simétricos, es decir, el pulmón derecho es más voluminoso que el pulmón izquierdo. En el pulmón derecho se identifican dos fisuras, la **fisura oblicua** y la **fisura horizontal**, las que dividen este pulmón en tres lóbulos: superior, medio e inferior. El pulmón izquierdo sólo presenta una sola fisura en la mayoría de los casos, la **fisura oblicua** que lo divide en dos lóbulos superior e inferior.

El tejido pulmonar está separado por tabiques de tejido conectivo que delimitan los segmentos del pulmón que están en relación con el ár-

bol bronquial y se conoce como **segmentación broncopulmonar**; esa segmentación es de importancia quirúrgica ante tratamientos de resección segmental, lobar o pulmonar. Los pulmones presentan un recubrimiento seroso denominado **pleura** (8).

Figura 7. Pulmones (vista anterior).



Fuente: Elaboración propia.

Pleura

Son membranas serosas que conforman un saco cerrado que recubre los pulmones y el interior de la cavidad torácica. Esta membrana serosa está constituida por una capa delgada de tejido conjuntivo laxo y una capa de epitelio escamoso simple. Cada pleura consta de dos láminas una visceral o pulmonar y otra parietal, denominadas respectivamente **pleura pulmonar** y **pleura parietal**, las cuales se unen bordeando el hilio del pulmón. Entre las dos láminas de pleura que conforman el saco ininterrumpido se encuentra la **cavidad pleural**, que es un espacio virtual que contiene una capa fina de líquido se-

roso lubricante secretado por el mesotelio, el líquido pleural facilita el deslizamiento y evita la fricción de los pulmones con estructuras adyacentes durante los movimientos de la respiración.

La **pleura pulmonar** se une íntimamente al pulmón excepto en el hilio pulmonar, la pleura pulmonar ingresa también en las fisuras del pulmón y las cubre hasta la profundidad de las mismas.

La **pleura parietal** recubre las diferentes partes de la cavidad torácica, el diafragma y la porción mediastinal de los pulmones, por lo que recibe el nombre según la zona que recubre: pleura costal, pleura mediastinal, pleura diafragmática y la porción cervical se denomina cúpula pleural. La **pleura costal** está en contacto directo con la fascia endotorácica que separa la pleura de la pared de la reja costa.

La **pleura mediastinal** cubre la cara mediastinal del pulmón entre el esternón y la cara anterior de los cuerpos vertebrales a excepción del hilio pulmonar, alrededor de él ingresa y se continúa como pleura pulmonar.

La **pleura diafragmática** se encuentra en contacto con la cara superior del diafragma del lado correspondiente, en esta región se forma el receso costo diafragmático.

La **cúpula pleural** se ubica en la parte cervical recubriendo el ápex del pulmón y se relaciona con la fascia endotorácica y contribuye a la fijación del pulmón, la cúpula pleural, por su ubicación, se relaciona con el ganglio simpático cervicotorácico, con la arteria subclavia y con los músculos escalenos (8).

Conclusiones

El capítulo *Anatomía del sistema respiratorio* se realizó con el objetivo de reconocer y diferenciar las estructuras anatómicas correspondientes a la vía aérea superior e inferior. Se puede decir que el apar-

to respiratorio está dividido en una porción de la vía aérea superior que lo conecta con el exterior del cuerpo que incluye las siguientes estructuras: fosas nasales, nariz y faringe, en donde no se realiza el intercambio gaseoso.

La vía aérea inferior que comprende laringe, tráquea, bronquios principales, bronquios lobulares, también hacen parte de la zona de conducción, a partir de los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alveolos son estructuras anatómicas que conforman el acino pulmonar, parte fundamental del intercambio gaseoso.

Respecto a los pulmones y pleura, es importante tener en cuenta que los surcos que dividen la pleura en lóbulos son las llamadas cisuras, que permiten que el pulmón tenga una mejor distensibilidad y que dividen el pulmón derecho en tres lóbulos y el izquierdo en dos, debido a que hay un espacio ocupado por el corazón.

Referencias bibliográficas

1. Gutiérrez-Vidal SE, García-Araque HF, Esteban Gutiérrez-Vidal S. Aspectos básicos del manejo de la vía aérea: anatomía y fisiología. R. Mexicana de Anestesiología Medigraphic.com [En ligne]. www.medigraphic.org.mx [cité le 1 April 2022]. Disponible: <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2015/cma152e.pdf>
2. García Araque HF, Valencia Orgaz O, López Vicente R, Gutiérrez Vidal SE. Anatomía de la vía aérea para el broncoscopista. Una aproximación a la anestesia. *Colomb J Anesthesiol.* 2014;42(3):192–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rca.2014.02.001>
3. Quintero Cifuentes IF. Fundamentos para la evaluación y manejo de la vía aérea. Cali. Universidad Icesi, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18046/eui/disc.2.2020>
4. Moore KL, Dalley AF, Agur AMR, Gutiérrez A, Ángeles Castellanos AM. Anatomía con orientación clínica. 2018. ISBN: 9788417033637

5. Netter FH. Atlas de anatomía humana (6a. ed.). [Internet]. Barcelona: Elsevier Health Sciences Spain - T; 2015. <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3429728>
6. Pró EA. Anatomía clínica. Buenos Aires: Panamericana; 2014. ISBN: 978-950-06-0603-5
7. Lowe JS, Anderson PG, Anderson SI. Stevens y Lowe. Histología humana. 2020. ISBN: 9788491136279

Capítulo 2

Intercambio de gases en el pulmón

Gas exchange in the lung

Camilo Alejandro Erazo Escobar

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-4904-7438>

✉ camilo.erazo00@usc.edu.co

Alejandro Segura Ordóñez

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Universidad del Valle. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-8925-2244>

✉ alejandro.segura00@usc.edu.co

Resumen

Introducción: El proceso de intercambio gaseoso es un tema de mucho interés, debido a que explica cómo actúan los distintos cambios fisiológicos en el cuerpo humano, al enfrentarse a distintas alturas a nivel del mar y como las leyes físicas de los gases actúan dentro del pulmón; así mismo, las adaptaciones fisiológicas que se realizan en todo el cuerpo humano para poder lograr un óptimo transporte de oxígeno y dióxido de carbono. Se tiene como objetivo dar a entender los distintos factores que hacen parte de este proceso, desde que ingresa el aire a los pulmones hasta el momento que es eliminado. **Materiales y métodos:** Se realizó una búsqueda bibliográfica de libros,

Cita este capítulo / Cite this chapter

Erazo Escobar CA, Segura Ordóñez A. Intercambio de gases en el pulmón. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 45-72.

de artículos científicos de tipo explicativos, analíticos y experimentales y revisiones bibliográficas en las bases de datos: Scielo, ScienceDirect, Elsevier, entre los años de 2011 y 2021, en relación al intercambio de gases. **Resultados:** Se reconoce los distintos procesos fisiológicos que se dan dentro del pulmón para tener un buen proceso de intercambio gaseoso y así lograr un adecuado aporte de oxígeno a los tejidos, y la adecuada eliminación del dióxido de carbono. Teniendo en cuenta que para que este proceso sea idóneo, se requiere de un aporte de varios mecanismos internos; si se produce una alteración de uno o varios mecanismos causa un deficiente intercambio gaseoso, produciendo una reducción en el oxígeno o un aumento del dióxido de carbono a nivel del líquido sanguíneo. **Conclusiones:** Se invita a continuar una investigación más profunda relacionada con el intercambio de gases en el pulmón, para así tener un mejor abarcamiento y aplicación en las distintas situaciones que se pueden presentar, ya sea en estados de normalidad o patológicos que pueden estar produciendo alteraciones a nivel pulmonar.

Palabras clave: intercambio gaseoso pulmonar, leyes de los gases, presión atmosférica, ventilación, perfusión, hemoglobina, oxígeno, dióxido de carbono, transporte de oxígeno y dióxido de carbono, difusión.

Abstract

Introduction: The gas exchange process is a topic of great interest because, it explains how the different physiological changes act in the human body when facing different heights at sea level and how the physical laws of gases act within the lung and, thus even the physiological adaptations that are made throughout the human body in order to achieve optimal transport of oxygen and carbon dioxide. The objective is to understand the different factors that are part of this process, from when the air enters the lungs until the moment it is eliminated. **Materials and methods:** A bibliographic search of books, explanatory, analytical and experimental scientific articles, bibliographic reviews, was carried out in the databases: Scielo,

ScienceDirect, Elsevier, between the years 2011 and 2021, in relation to the gas exchange. **Results:** The different physiological processes that occur within the lung are recognized to have a good gas exchange process, and thus achieve an adequate supply of oxygen to the tissues, and the adequate elimination of carbon dioxide. Taking into account that for this process to be suitable, a contribution of several internal mechanisms is required, if an alteration of one or more mechanisms occurs, it causes a deficient gas exchange producing a reduction in oxygen or an increase in carbon dioxide at the level blood fluid. **Conclusions:** It is invited to continue a more in-depth investigation related to the gas exchange, in order to have a better coverage and application in the different situations, that may occur either in normal or pathological states that may be producing these alterations at the pulmonary level.

Keywords: gas exchange, laws of gases, atmospheric pressure, ventilation, perfusion, hemoglobin, oxygen, carbon dioxide, transport of oxygen and carbon dioxide, diffusion.

Introducción

Con el inicio de varios estudios a través de los años, se fue dando a conocer el principal papel de la respiración con las diferentes investigaciones acerca de las propiedades químicas de los gases, surgiendo que el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, ocurre en los tejidos de todo el cuerpo humano, dando como resultado que el proceso de la respiración aborda varias áreas de estudio como son química, bioquímica y fisiología.

Este capítulo está enfocado principalmente en la función pulmonar que consiste en lograr el adecuado intercambio de los gases, para así mismo garantizar la funcionalidad que el cuerpo necesita, de forma que el oxígeno sea capaz de cumplir con las demandas metabólicas de cada uno de los tejidos y la eliminación del dióxido de carbono. El intercambio de los gases se realiza a través de las paredes alveolares

debido a los cambios en las presiones pulmonares; el aire entra y sale de los pulmones y produce cambios en el tamaño de la cavidad torácica, dicho intercambio se produce por difusión en los alveolos que se encuentran rodeados por los capilares.

En el presente capítulo se expone como la presión barométrica y la presión parcial de los gases tienen efectos a nivel pulmonar, las distintas leyes físicas que interactúan en el proceso de la respiración, la difusión de los gases, la relación ventilación perfusión de los gases inspirados.

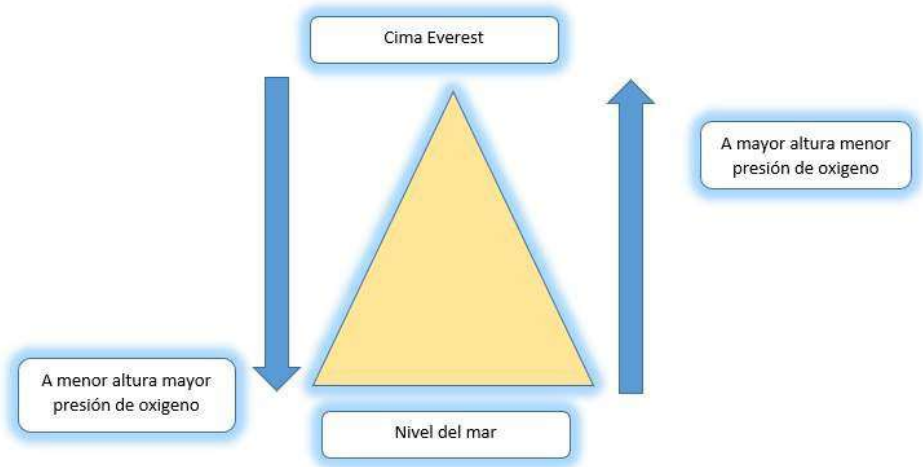
Por último, respecto al transporte de oxígeno y dióxido de carbono se detalla cómo influye la hemoglobina en estos procesos y así mismo sus cambios en la curva de disociación de la hemoglobina.

Presión barométrica

Es la fuerza que se ejerce sobre la tierra por el peso atmosférico, es cambiante de acuerdo con el clima y la zona geográfica. Es decir, que en zonas de altas elevaciones tienen menos presión, ya que poseen menor atmósfera sobre ellas y en bajas elevaciones es lo contrario, para medirla se utiliza un elemento llamado barómetro (1).

Una vez finalizada esta operación, se medirán las propiedades físicas macroscópicas de un gran número de moléculas de gas no visibles a simple vista. A nivel molecular, la presión medida se genera por la fuerza de una sola molécula de gas que choca con otros objetos, como la pared de un recipiente que contiene estos gases (1). La figura 8 muestra el concepto de presión barométrica con relación a la altitud.

Figura 8. Concepto de presión barométrica y altitud.



Fuente: Elaboración propia.

Presión parcial de los gases del aire (efectos de la altura sobre los gases)

El consumo de oxígeno se realiza de acuerdo con la demanda metabólica del ser humano durante el proceso de respiración y para mantener una homeostasis en los tejidos, el oxígeno debe pasar por difusión a través de la membrana; la cantidad de oxígeno disuelto dentro de los tejidos y las células depende de varios factores que incluyen: presión barométrica, condiciones climatológicas (temperatura, humedad relativa, latitud, altitud), así como procesos fisiológicos y patológicos (2).

La formación de los gases en la atmosfera se encuentra dividida en diferentes porcentajes que son:

- Nitrógeno (N_2): 78%
- Oxígeno (O_2): 21%
- Dióxido de carbono (CO_2): 0,03%
- Otros gases: 1%

La tabla 3 muestra la composición de los gases en la atmosfera.

Tabla 3. Composición de los gases en la atmósfera

ATMÓSFERA		
Gas	En el aire	A nivel del mar
N ₂	78.09%	593.48 mm/Hg
O ₂	20.95%	159. mm/Hg
CO ₂	0.03%	0.23 mm/Hg
Ar	0.93%	7.07 mm/Hg
H ₂ O	0%	0 mm/Hg
Total	100%	760 mm/Hg

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se inicia con el proceso de la respiración, en su trayecto el aire cambia de temperatura y humedad al ingresar por la nariz y siguiendo por el tracto respiratorio superior, ocurre que la presión de oxígeno comienza a disminuir, contrario con lo que pasa con la concentración de agua que aumenta, de esta manera los porcentajes de los gases se ven alterados en sus concentraciones.

La disminución de la presión parcial de oxígeno se ve afectada debido a la adición del vapor de agua a la mezcla de gases, no solo reduciendo el oxígeno sino también a los demás gases presentes en la mezcla (2).

La presión del vapor de agua a una temperatura corporal normal de 37°C es constante a 47 mm/Hg, observando un resultado de reducción efectiva. A nivel de los alvéolos la presión parcial de oxígeno es 159.22 mm/Hg a 149.37 mm/Hg, que, a nivel del mar, probablemente no se observen cambios fisiológicamente, debido a que representa el 6% de la presión atmosférica (2).

Cuando la presión atmosférica ya es baja, como, por ejemplo, en la cima del Monte Everest, una reducción de 47 mm/Hg en la presión del

vapor de agua representa alrededor del 20% de la presión atmosférica parcial de oxígeno disponible, lo que sería potencialmente mortal (2).

De igual forma, se produce una reducción adicional de la presión de oxígeno durante el recorrido realizado del aire humidificado que inicia en la nariz hasta llegar a los alveolos, producido por el espacio muerto, debido a que estos gases no participan en el intercambio gaseoso y también por los gases inspirados y espirados. La tabla 4 muestra la composición de los gases en la tráquea.

Tabla 4. Composición de los gases en la tráquea.

GAS	EN EL AIRE	A NIVEL DEL MAR
N ₂	73.26%	556.78 mm/Hg
O ₂	19.65%	149.37 mm/Hg
CO ₂	0.03%	0.21 mm/Hg
Ar	0.87%	6.63 mm/Hg
H ₂ O	6.18%	47 mm/Hg
Total	100%	760 mm/Hg

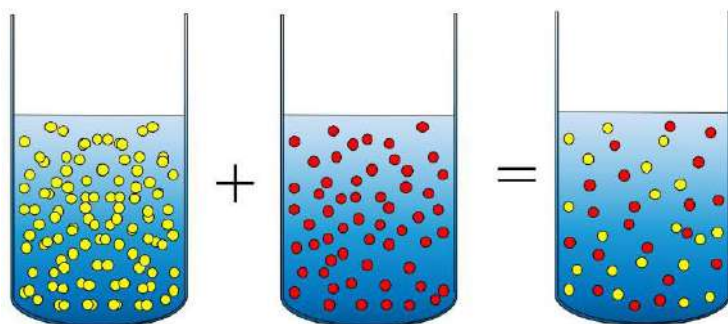
Fuente: Elaboración propia.

Leyes que rigen los gases

Ley de Dalton

Dalton descubrió, en el año 1801, que la presión total de la mezcla de gases es igual a la suma de las presiones ejercidas por cada gas que componen dicha mezcla (figura 9). La presión ejercida por cada gas sobre la mezcla se llama presión parcial, por lo que la siguiente fórmula matemática se puede utilizar para expresar la ley (3).

$$P_{\text{Total}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n$$

Figura 9. Ley de Dalton.**Fuente:** Elaboración propia.

Por ejemplo, del aire normal la presión barométrica a nivel del mar de 760 mm/Hg, se debe al nitrógeno 593 mm/Hg y al oxígeno 159 mm/Hg, con una contribución menor de gases como el argón y el dióxido de carbono. Al aumentar dicha presión, a una persona que practica buceo, la presión de cada gas cambia de manera proporcional al cambio de la presión barométrica. Si las presiones de algunos gases como el nitrógeno u oxígeno aumentan en sangre, pueden ser tóxicos, por lo anterior es que los tanques de buceo tienen una mezcla especial de gases para evitar lo anterior (3).

Ley de Henry

El químico William Henry descubrió en el año 1803, que una cantidad de dicho gas disuelta en un líquido a una temperatura constante es proporcional a la presión parcial de dicho gas sobre el líquido (figura 10) (3).

Esta ley se resume en la siguiente ecuación matemática:

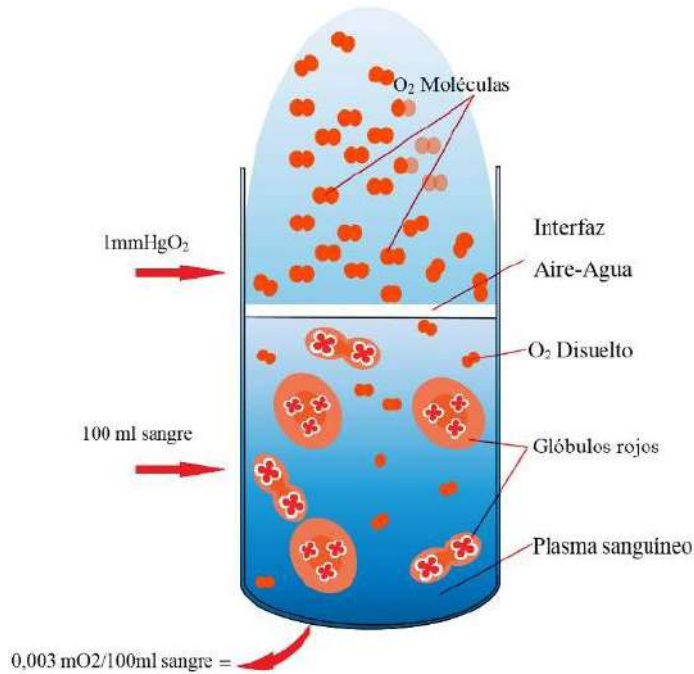
$$P = KH * C$$

P: Presión parcial del gas

KH: Constante de Henry

C: Concentración del gas

Figura 10. Ley de Henry.



Fuente: Elaboración propia.

Ley de Boyle

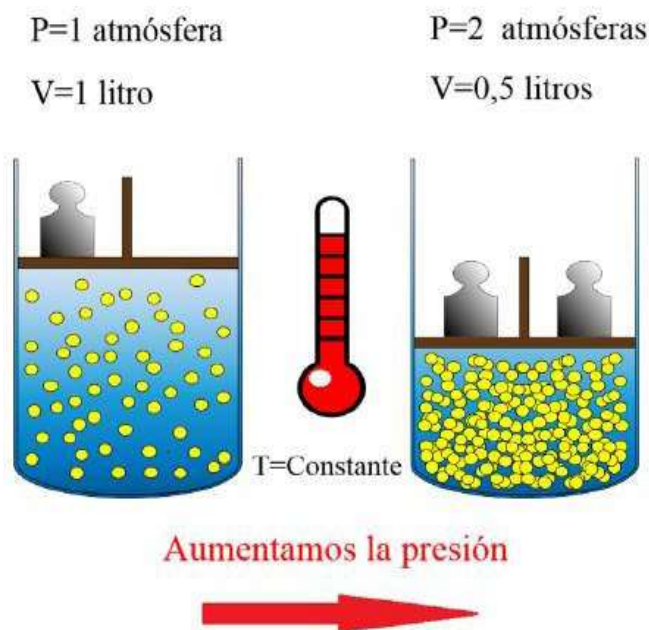
Boyle descubrió en el año 1662, que la presión ejercida por un gas es inversamente proporcional a su volumen, siempre que se encuentre a una temperatura y porción de gas constante, es decir, que si la presión del gas aumenta, su volumen disminuye; por el contrario, cuando la presión del gas disminuye, su volumen aumenta. En términos matemáticos se expresa con la siguiente ecuación:

$$P_1 + V_1 = P_2 + V_2$$

Dicha ley se suele utilizar para interpretar los efectos de la altitud sobre los gases en espacios cerrados en el cuerpo del ser humano; también, para calcular el volumen total de gas intratorácico mediante

un examen de pletismografía corporal, que va a medir la capacidad funcional y la fuerza de las vías aéreas. Cuando empieza a aumentar la altitud, la presión atmosférica empieza a bajar, por lo tanto, según la Ley de Boyle, la expansión del volumen se produce en espacios cerrados (figura 11) (3).

Figura 11. Ley de Boyle.



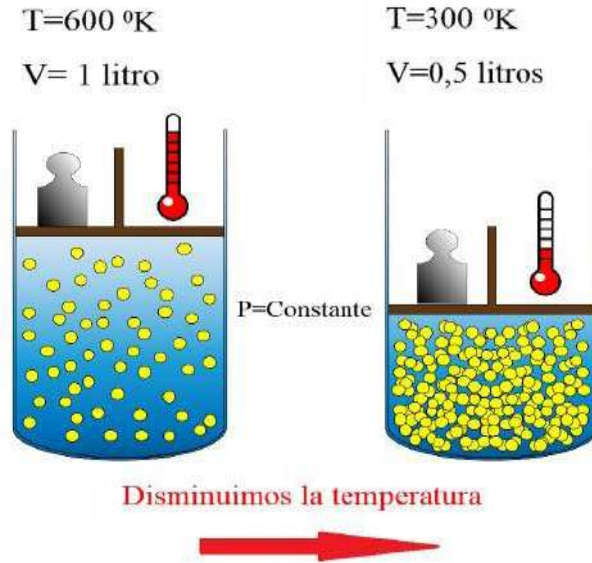
Fuente: Elaboración propia.

Ley de Charles

Charles en el año de 1787 descubrió que el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura a una presión constante, por consiguiente, si el volumen aumenta, de igual forma aumenta la temperatura y por contrario, si el volumen disminuye la temperatura disminuye (figura 12). Esta ley se expresa con la siguiente ecuación matemática:

$$V1 / T1 = V2 / T2$$

Figura 12. Ley de Charles.



Fuente: Elaboración propia.

Un ejemplo claro, es cuando un recipiente que contiene un gas y es sometido a una mayor temperatura, por el proceso de que sus partículas tienden a expandirse, este va a colapsar.

A nivel respiratorio del ser humano, cuando cambia la temperatura va a generar un cambio en el volumen intrapulmonar, como, por ejemplo, en una persona en estado de hipotermia, el tamaño de los gases a nivel alveolar va a disminuir y por el contrario en una persona en estado febril, el tamaño en los alvéolos pulmonares tiende a aumentar (3).

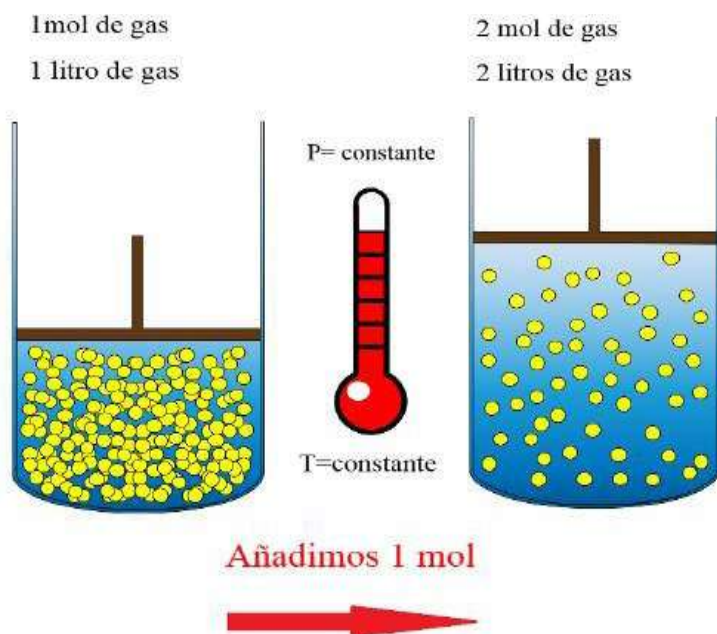
Ley de Avogadro

Avogadro en el año 1811 descubrió que en un gas a temperatura y presión constante, una misma cantidad de partículas, presenta el mismo volumen; es decir, que el volumen del gas es directamente proporcional a la cantidad de partículas de dicho gas, por consiguiente, cuando

aumenta la cantidad del gas, aumenta el volumen y por el contrario, si disminuye la cantidad de gas va a disminuir el volumen (figura 13). Esta ley se puede interpretar con la siguiente fórmula matemática:

$$V_1 / n_1 = V_2 / n_2$$

Figura 13. Ley de Avogadro.



Fuente: Elaboración propia

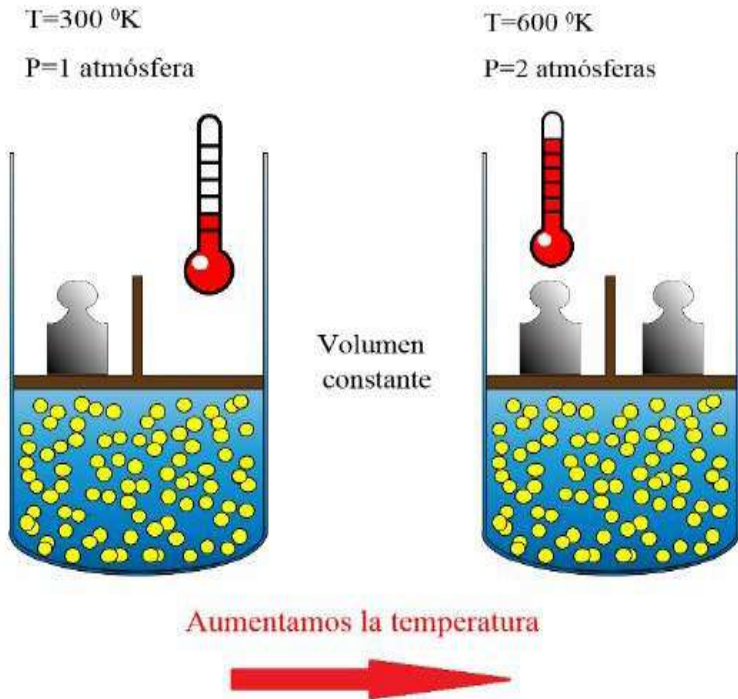
En cuanto a nivel pulmonar dicha ley explica que cuando se inspira poco aire va a ocupar menos espacio en el pulmón, esto se ve reflejado en la expansión, por el contrario, si se ingresa más aire al pulmón va a ocupar mucho más espacio, por consiguiente, se obtiene una expansión pulmonar mayor (3).

Ley de Gay- Lusacc

Gay Lusac descubrió en el año 1802, que la presión de un gas es directamente proporcional a su misma temperatura, por lo que si la temperatura aumenta, la presión también aumenta, por el contrario, si la temperatura disminuye la presión de dicho gas va a disminuir. Dicha ley se expresa con la siguiente fórmula matemática (figura 14) (3).

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

Figura 14. Ley de Gay- Lusacc



Fuente: Elaboración propia.

Ley de Fick

La ley de Fick describe el proceso de circulación del gas a través de la membrana alveolar-capilar, ocurre a través del proceso de difusión y se expresa con la siguiente fórmula matemática.

$$V'_{\text{gas}} = D * A * \Delta P / T$$

- **V' gas** = Tasa de difusión del gas a través de la membrana permeable.
- **D** = Coeficiente de difusión del gas.
- **A** = Área de superficie.
- **ΔP** = Diferencia de presión del gas a través de la membrana.
- **T** = Espesor de la membrana.

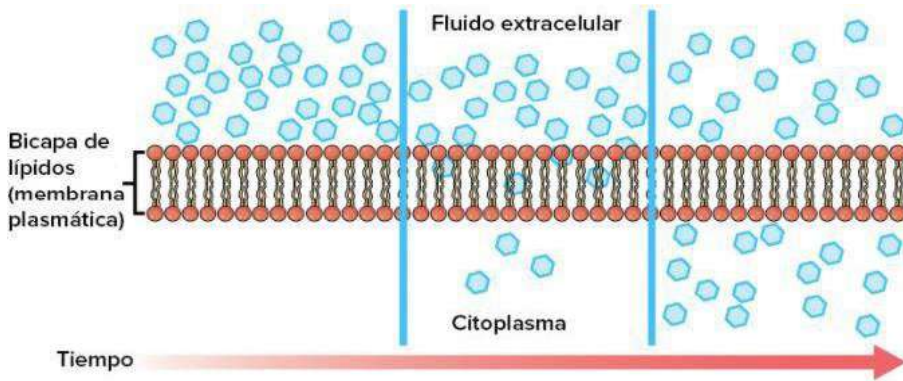
Esta ley considera que la difusión de los gases a través de la membrana depende de los siguientes agentes, tales como: las propiedades químicas de la membrana, el gas y como éstos interactúan.

Independientemente de las propiedades específicas de cada gas y la membrana, la ley de Fick ha establecido que la tasa de difusión de dicho gas es proporcional al área de la superficie (A) e inversamente proporcional al espesor de la membrana (T) (4).

Difusión de los gases

Es el proceso mediante el cual una sustancia tiende a desplazarse de una zona de alta concentración a una zona de baja concentración, hasta que esta sea igual a nivel de los dos espacios. Las moléculas pueden moverse por difusión a través del citosol celular o también, se difunden a través de la membrana plasmática, pero cuando la desigualdad de concentración a través de una membrana es desfavorable, en ese momento la célula tiene que gastar energía, forzando a un movimiento en contra del gradiente de concentración al que se le conoce como transporte activo (figura 15) (5).

Figura 15. Difusión.

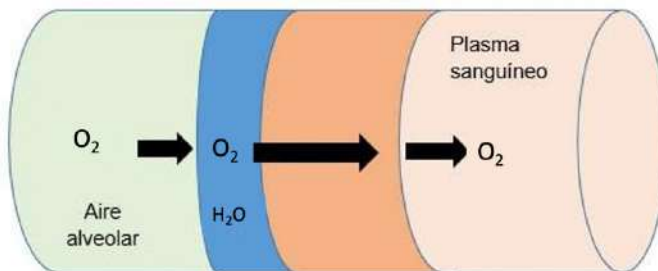


Fuente: Arrazola A. Biología De La Membrana Celular. Nefrología. 2014;14(4):418-26.

Grosor de la membrana

Para que se realice una correcta difusión desde la parte alveolar hacia el plasma, se debe pasar por las siguientes estructuras: membrana capilar, capa de agua, neumocitos tipo 1, intersticio celular, célula epitelial, finalizando con el plasma (figura 16) (5).

Figura 16. Grosor de la membrana.



Fuente: Elaboración propia.

En algunos casos debido a agentes patológicos se presentan variantes a nivel de las barreras de agua, o en caso de infecciones como pus, problemas en el intersticio como sucede en el edema pulmonar, van a producir un incremento del grosor de la membrana, lo que ocasiona que la velocidad en el transporte de oxígeno desde el alvéolo hasta la sangre sea más lenta (5).

Solubilidad del gas

Los gases que pasan a través de la membrana son el oxígeno y el dióxido de carbono, en cuanto a estos dos gases la solubilidad del CO_2 es mayor que a la del oxígeno; en cuanto a los gases que se encuentran en el ambiente que son: nitrógeno 78%, oxígeno 21% y otros gases 1% (5).

Gradiente de presión

El flujo siempre va a ir desde el lugar de mayor concentración hacia el lugar de menor concentración; por ejemplo, si en un lado se tienen 300 moléculas y en el otro lado 70 moléculas, se va a hacer el paso desde las 300 hacia las 70, en cuanto más desigualdad se presente en los lados, se va a observar alterada la velocidad del transporte (5).

Área de contacto

Depende de a qué porcentaje de alvéolos les llega oxígeno para poder realizar el proceso de intercambio gaseoso, es decir, que entre más grande sea el área de contacto a nivel alveolar, será mayor la capacidad de transportar el oxígeno a la sangre; un ejemplo claro en donde se refleja una área de contacto disminuida en patologías infecciosas como, por ejemplo, la neumonía, debido a que una cantidad de alvéolos van a estar ocupados por líquido, por lo que el oxígeno no va a lograr llegar al capilar, como consecuencia, no se logra un adecuado transporte de oxígeno a la sangre (5).

Efecto del ciclo inspiración espiración

Relación ventilación perfusión

La ventilación (V) es el volumen de un gas que es inspirado y espirado por los pulmones en ciclos de tiempo, por lo general en un minuto. Se puede calcular de la siguiente forma matemática: multiplicando el volumen corriente, el cual es el volumen de aire inspirado y espirado durante una respiración, por la frecuencia respiratoria de un minuto, por la perfusión (Q), es el volumen total de sangre que llega a los capilares pulmonares en un tiempo determinado.

La relación que existe entre ventilación y perfusión V/Q para proporcionar una eficacia en la función pulmonar, puede variar según el área del pulmón; las diferencias proporcionales para diferentes áreas por debajo del corazón van a tener mayor perfusión en la relación a la ventilación, esto es debido a la gravedad, que se observará reducida a la proporción ventilación / perfusión, debido a que la gravedad experimenta unos cambios en la ventilación y la perfusión, por medio de los siguientes mecanismos:

- La presión pleural es mayor a nivel de las bases pulmonares, lo que provoca que los alvéolos tiendan a tener mejor ventilación y sean más dóciles.
- La presión hidrostática es menor en los vértices pulmonares, porque se observa como resultado un menor flujo y disminución de la perfusión.

Cuando la gravedad aumenta junto con la perfusión, las zonas apical y media del pulmón son las que experimentan un aumento en la perfusión, de igual manera aumenta el gasto cardiaco (6).

Discrepancia entre ventilación y perfusión

En algunos casos se presenta un desequilibrio entre el flujo de sangre alveolar y la ventilación alveolar, esto se observa reflejado entre la relación ventilación / perfusión. Cuando esto pasa y dicha relación disminuye producto de una ventilación inadecuada, se ve afectado el intercambio gaseoso a nivel alveolar y debido a esto aumentan las presiones parciales de oxígeno y dióxido de carbono.

Para el manejo en estos casos, la vasoconstricción hipóxica se encarga de que la sangre se desplace a lugares del pulmón que están en una adecuada ventilación; la hemoglobina en los capilares alveolares que están bien ventilados se encuentra saturada, significando que los glóbulos rojos no logran unirse al oxígeno para aumentar la presión parcial de oxígeno. Como resultado la presión parcial de oxígeno en sangre se encuentra disminuida ocasionando una hiperventilación y resultando en unos niveles de dióxido de carbono normales o bajos (7).

Diferencias regionales de la ventilación

Cuando un ser humano se encuentra de pie, la gravedad tiene unos efectos sobre la presión arterial pulmonar (Pa), la presión venosa pulmonar (Pv) y la presión alveolar (PA) dependiendo de las zonas pulmonares; por ejemplo, en el ápex el flujopulmonar es menor y se puede incrementar cuando cambia la zona. Específicamente se distinguen cuatro zonas pulmonares (8).

Zona 1: $PA > Pa > Pv$. Esta se encuentra en la parte superior del ápex pulmonar, cuando las presiones vasculares son críticamente bajas o cuando la presión alveolar se eleva de manera artificial, por medio de ventilación con presión positiva. Estas circunstancias se dan en el ápice del pulmón bajo circunstancias específicas. La Pa y la Pv deben ser tan bajas que estén por debajo de PA para que se consideren vasos alveolares de zona 1.

Zona 2: $P_a > P_A > P_v$. Estas circunstancias suelen darse desde el pulmón medio hasta el ápice. La zona 2 se distingue porque el valor promedio de la P_a y la P_v son lo suficientemente altas como para encefalar a la P_A . La resistencia creada por la compresión extravascular disminuye en forma gradual, con la altura pulmonar.

Zona 3: $P_a > P_v > P_A$. Estas condiciones prevalecen en el pulmón medio e inferior. El Flujo es máximo en esta zona y es favorecido por el vector gravitacional incrementando las presiones de perfusión de tal manera que no se presenta el colapso vascular (9).

Zona 4: $P_a > P_v > P_A$. En la base de los pulmones se dan estas circunstancias. Las arterias alveolares de la zona 4 responden de forma similar a las de la zona 3 y se agrandan más a medida que nos acercamos a la base del pulmón. Sin embargo, esta zona responde a vasos extraalveolares, los cuales funcionan de forma diferente debido a que estos vasos extra-alveolares alimentan o drenan los vasos alveolares y el flujo sanguíneo comienza a descender desde su pico a medida que nos acercamos a la base extrema de los pulmones.

Transporte de O_2 y CO_2

El transporte del oxígeno hacia los tejidos inicia desde la recaptación de la atmósfera; esto se requiere para la respiración interna, teniendo en cuenta que la solubilidad del oxígeno es muy baja a diferencia de otros gases. Por esto la hemoglobina es la principal y única proteína diseñada para ser la transportadora de oxígeno en la sangre, por medio de la vasculatura sistémica, para de esta manera, poder llevarlo hasta los tejidos y así mismo ayudar en el regreso del dióxido de carbono a los pulmones (10).

El dióxido de carbono es un desecho del metabolismo aeróbico, su comportamiento en la sangre es el siguiente, el 7% de CO_2 permanece disuelto en el plasma sanguíneo, el 23% de CO_2 es transportado por la hemoglobina por medio de los glóbulos rojos unidos a ella, es decir ocupando el espacio del oxígeno, cuando esto ocurre se conoce con el

nombre de carbaminohemoglobina o también como carboxihemoglobina; otra forma de transporte de CO_2 que es la más común consiste en transformarlo en bicarbonato (10).

Los glóbulos rojos tienen dos funciones, cuando pasan por los tejidos y cuando pasan por los pulmones. Cuando pasan por los pulmones lo que se requiere es que el glóbulo rojo se sature de oxígeno, pero al mismo tiempo se necesita que el pulmón cumpla con la otra función que es favorecer la salida de CO_2 , estabilizando los estados ácido base del cuerpo humano (10).

Hemoglobina

En el año 1849 en medicina y química se descubre que es una proteína asociada con la función fisiológica encargada de transportar el oxígeno; de esta forma se sabe que el 97% de oxígeno es transportado por medio de la hemoglobina y el 3 % sobrante está diluido en el plasma. La hemoglobina es la encargada de fijar el oxígeno y transportarlo por medio de la sangre hacia las células y tejidos que rodean el sistema vascular; cuando el líquido sanguíneo regresa desde los capilares hacia los pulmones, dicha proteína cumple la labor de transportar el dióxido de carbono.

Los valores normales de hemoglobina en sangre son los siguientes:

- Hombres: 13 a 16 g/dl.
- Mujeres: 12 a 15 g/dl.

Esta proteína se encuentra dentro del grupo de los eritrocitos y contiene unos grupos denominados heme, compuestos por hierro donde tiene cuadro subunidades: $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$ y $\beta 2$ que son los encargados de que la hemoglobina se una a las estructuras del oxígeno. Cada gramo de hemoglobina que esté saturada al 100% logra transportar 1,34 ml de oxígeno (11).

Cuando la hemoglobina se une al hierro, este es el que va a permitir la unión del oxígeno al grupo heme, por ende, su transporte, una

vez unida la hemoglobina al hierro, le brinda el color rojizo al líquido sanguíneo, por el contrario, cuando el oxígeno no se encuentra unido al hierro, lo que se conoce como desaturación, esta reacción hace que el color del líquido sanguíneo se torne purpura.

La atracción de la hemoglobina hacia el oxígeno depende del entorno en donde se encuentre; por ejemplo, en entornos donde hay bajos niveles de oxígeno la hemoglobina tiene muy poca afinidad, pasa lo contrario si en dicho entorno hay abundancia de oxígeno y se empiezan a unir la molécula a la hemoglobina que presenta más afinidad, por consiguiente, cada vez que la molécula se va saturando con otra molécula nueva, la afinidad va incrementando (11).

El hierro, normalmente en soluciones acuosas, se encuentra en dos estados que pueden ser: estado ferroso, o en estado férrico, pero el oxígeno solo se puede unir al hierro cuando se encuentra en su estado ferroso; cuando se encuentra en estado férrico el oxígeno es incapaz de unirse a la hemoglobina y se conoce como metahemoglobina que no posibilita el transporte de oxígeno hacia los tejidos.

Cuando la temperatura corporal no se encuentra en valores normales puede causar errores en la interpretación en los valores de gases en sangre, debido que a medida que la temperatura incrementa, la afinidad disminuye de la hemoglobina hacia el oxígeno, permitiendo la liberación de oxígeno, un ejemplo es cuando se practica ejercicio intenso prolongado. Por esta razón, cuando se requiere un examen de hemoglobina en sangre, dicha prueba se debe tomar cuando la persona no tenga un sobre esfuerzo físico, que pueda modificar la temperatura corporal (11).

Curva de disociación de la HB

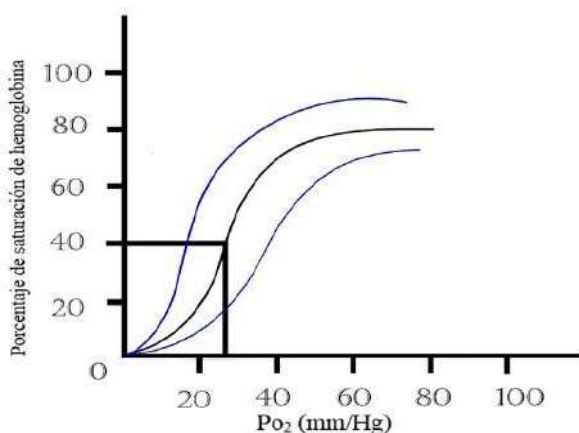
La curva de disociación de la hemoglobina tiene una forma sigmoidea en forma de S, que representa la saturación de oxígeno en función de la presión de oxígeno; dicha curva representa el aumento progresivo

de los porcentajes de hemoglobina como resultado del aumento de la presión parcial de oxígeno en sangre.

La presión parcial de oxígeno se define como la P50 que es necesaria para obtener una saturación de hemoglobina del 50% y sus valores oscilan alrededor de los 27 mm/Hg.

Algunos factores desplazan la forma de la curva hacia la derecha o la izquierda, pero siempre se mantiene la forma sigmoidea; por ejemplo, cuando la atracción de hemoglobina hacia el oxígeno aumenta la curva, se observa desplazada hacia la izquierda y la P50 de igual manera disminuye; por el contrario, cuando la afinidad disminuye la curva se traslada hacia la derecha y la P50 aumenta (figura 17) (11).

Figura 17. Curva de disociación de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

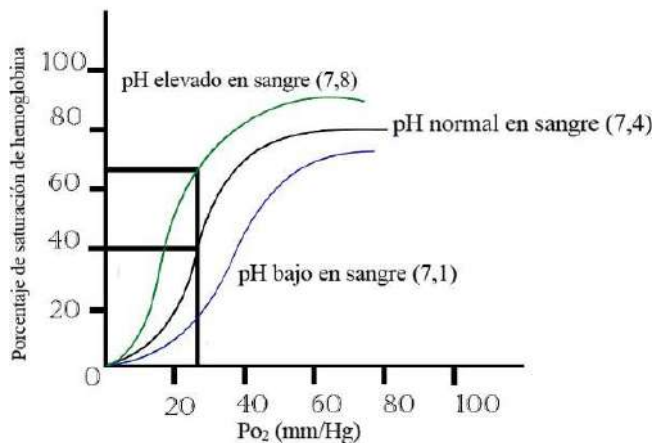
Factores que modifican la curva de disociación de la hemoglobina

Dependen del estado en el que se encuentra el ser humano, es decir, hay ocasiones en las que se requiere más o menos consumo de oxígeno; por ejemplo, existen momentos en que el cuerpo se encuentra en reposo o

en actividad, por esto, la hemoglobina tiene que censar estos cambios de estado, para poder entregar la cantidad de oxígeno requerida por el sistema metabólico, produciendo un cambio en donde se observara la curva desplazada hacia la derecha o izquierda, el cual se denomina cambios de la atracción de la hemoglobina por el oxígeno (11).

El pH: Cuando un tejido se encuentra en actividad libera productos de desecho que producen el cambio del pH; normalmente cuando son productos de actividad energética son niveles ácidos. Por el contrario, cuando un tejido se encuentra en reposo o poco activo produce niveles de pH alcalinos; esto va a producir el desplazamiento de la curva y afecta directamente a la saturación de oxígeno. Cuando el pH es menor la curva se traslada hacia la derecha y cuando el pH es mayor la curva se traslada hacia la izquierda (figura 18) (11).

Figura 18. Efecto del pH sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.

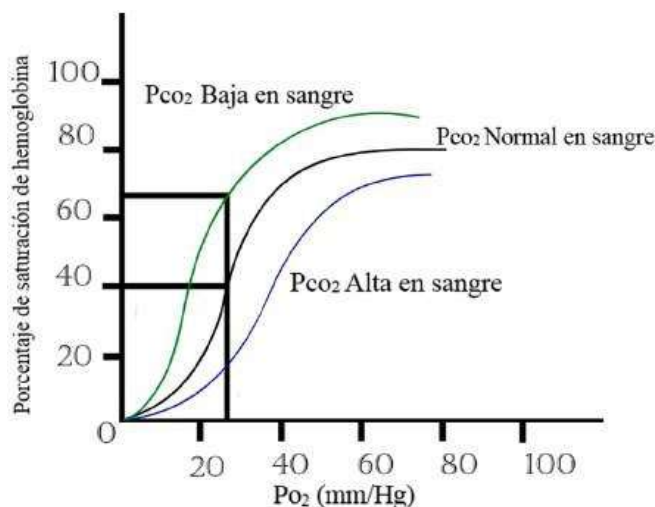


Fuente: Elaboración propia.

PCO₂: El CO₂ es capaz de modificar el pH y también es uno de los desechos del metabolismo aeróbico, por lo tanto, los niveles de CO₂ incrementados o disminuidos son señales para la hemoglobina que ese tejido necesita más oxígeno o menos oxígeno. Si los niveles de CO₂ son elevados la curva se traslada en dirección a la derecha, favoreciendo

la llegada de oxígeno a los tejidos o, por el contrario, si los niveles de CO_2 son menores, la curva se traslada con dirección a la izquierda, facilitando que la hemoglobina se quede con el oxígeno (Figura 19) (11).

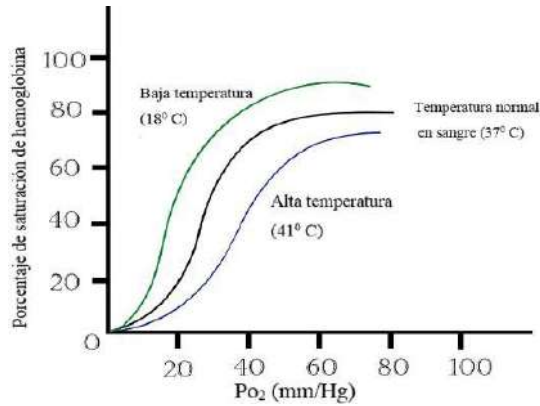
Figura 19. Efecto de la Pco_2 sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

Temperatura: Todo tejido en actividad cambia su temperatura; cuando un tejido está activo su temperatura aumenta y esto modifica la afinidad de la hemoglobina; cuando un tejido tiende a tener niveles de temperatura bajos, favorece para que la hemoglobina no suelte el oxígeno en los tejidos, produciendo el traslado de la curva con dirección a la izquierda, mientras que cuando los niveles de temperatura son altos, la curva se desplaza hacia la derecha (figura 20) (11).

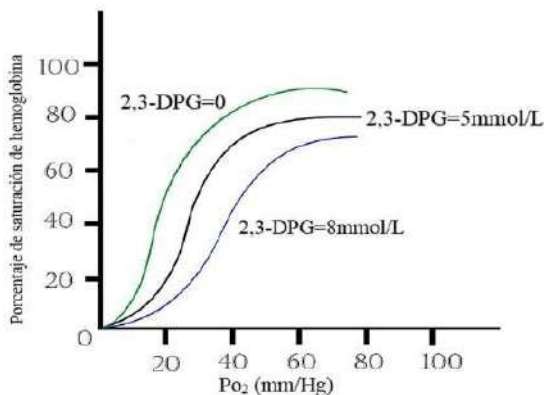
Figura 20. Efecto de la temperatura sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

2,3-Difosfoglicerato: Es un desecho producido por el metabolismo aeróbico que está relacionado con la mitocondria; entre más alto sea su valor en el tejido la mitocondria trabaja más; cuando los valores de 2,3-difosfoglicerato son altos, ocasiona que la curva se desplace con dirección hacia la derecha, contrario si sus valores son bajos, la curva se desplazará con dirección a la izquierda (Figura 21) (11).

Figura 21. Efecto del 2,3-difosfoglicerato sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

Diferencia arterio venosa de O₂

Es la diferencia que existe en el porcentaje de oxígeno entre la sangre arterial y la sangre venosa. Esto indica el gasto de oxígeno de los tejidos; entre mayor sea la diferencia, mayor será la demanda de oxígeno por los tejidos del cuerpo humano. Cuando la sangre ingresa a los capilares, su concentración de oxígeno es muy parecida a la arterial, pero cuando es transportada hacia el capilar, empieza a disminuir, debido a que el oxígeno se disuelve por el líquido intersticial con dirección a las células. Por lo anterior, la sangre que sale del capilar tiene un porcentaje de oxígeno igual al venoso.

Si se realiza el cálculo de la diferencia de oxígeno que ingresa y sale desde el capilar se obtiene el resultado del consumo tisular; si se realiza esto en una persona en estado de reposo, el valor es de 3 a 5 mL por cada dL de sangre, pero este valor no se puede utilizar en una persona que se encuentra en estado patológico puesto que se puede generar un mayor consumo de oxígeno por parte de todos los tejidos, debido a que se activan mecanismos de compensación, produciendo una alteración en la diferencia arterio-venosa(14).

Conclusiones

La realización de este capítulo del libro tuvo la intención de conocer más a fondo sobre el proceso de intercambio gaseoso en el cuerpo humano. Los principales órganos encargados del intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el aire y la sangre son los pulmones, el cual se lleva a cabo dentro de los alvéolos en la interfaz hemato gaseosa, y sirven para el transporte de la circulación pulmonar.

La intervención de la gravedad tiene sus efectos en los vasos sanguíneos dentro del pulmón, creando tres zonas propias con su respectivo flujo, dando como resultado que las presiones de perfusión y el flujo sean más bajas en el ápex pulmonar que corresponde a la zona superior y que el flujo pulmonar sea más elevado en las bases pulmonares.

El intercambio de oxígeno y dióxido de carbono se realiza por el proceso de difusión, en donde intervienen unos factores como el grosor de la membrana, la solubilidad del gas, el gradiente de presión y el área de contacto.

Otro factor que es muy importante en el intercambio gaseoso son las leyes químicas de los gases, como lo plantean distintos autores, dependen de la temperatura y las presiones.

La hemoglobina es la principal proteína transportadora del oxígeno con destino a los tejidos; así mismo, el dióxido de carbono es transportado entre la asociación de esta proteína y el bicarbonato.

La curva de disociación de la hemoglobina puede desplazarse con dirección a la derecha o a la izquierda, dependiendo de la modificación de algunos factores como pueden ser el pH, temperatura, p_{CO_2} , o 2,3-difosfoglicerato, de esto va a depender el transporte y consumo del oxígeno por los tejidos, en donde en algunas ocasiones puede aumentar o disminuir la demanda.

Referencias bibliográficas

1. Stickland MK, Lindinger MI, Olfert IM, Heigenhauser GJ, Hopkins SR. Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. *Compr Physiol*. 2013 Apr;3(2):693-739. doi: 10.1002/cphy.c110048. PMID: 23720327; PMCID: PMC8315793.
2. Ortiz-Prado E, Dunn JF, Vasconez J, Castillo D, Viscor G. Presión parcial de oxígeno en el cuerpo humano: una revisión general. *Soy J Blood Res*. 2019; 9 (1): 1-14.
3. Chandan G, Cascella M. Leyes de los gases y aplicación clínica. En: *StatPearls Treasure Island*. 2020

4. Martelli F, Del Bianco S, Ismaelli A, Zaccanti G. Light Propagation through Biological Tissue and Other Diffusive Media. 1000 20th Street, Bellingham WA 98227-0010 USA: SPIE; 2010. p. 246–9.
5. Boron W. Fisiología médica [Internet]. Com.co. [citado el 12 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://www.expolibros.com.co/index.php/medicina/medicina/fisiologia/boron-fisiologia-medica>
6. Harvey R. Lippincott's illustrated reviews. Barcelona; 2013.
7. Dunn J-O, Mythen MG, Grocott MP. Physiology of oxygen transport. BJA Educ. 2016;16(10):341–8. DOI: <https://doi.org/10.1093/bjaed/mkw012>
8. Wagner PD. The physiological basis of pulmonary gas exchange: Implications for clinical interpretation of arterial blood gases. Eur Respir J [Internet]. 2015;45(1):227–43. DOI: <https://doi.org/10.1183/09031936.00039214>
9. Raff H, Levikzky M. Fisiología medica un enfoque por aparatos y sistemas. Mexico. Lange; 2011. 803p.
10. Canet J. Fisiología Respiratoria. Soc Catalana Anestesiol Reanim y Ter del dolor. 2006.
11. Peñuela OA. Edu.co [En ligne]. 2005. Hemoglobina: una molécula modelo para el investigador [cité le 1 April 2022]. Disponible: <http://colombiamedica.univalle.edu.co/index.php/comedica/article/view/366/e>
12. Guyton, Hall J. Tratado de fisiología médica. Elsevier; 2016. 1168p.

Capítulo 3

Mecánica de la ventilación pulmonar

Mechanics of pulmonary ventilation

Jacqueline Peña Bartolo

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-7591-7188>

✉ jaqueline.pena00@usc.edu.co

Alejandro Segura Ordóñez

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Universidad del Valle. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-8925-2244>

✉ alejandro.segura00@usc.edu.co

Resumen

Introducción: El presente capítulo, tiene como objetivo explicar el proceso de la ventilación pulmonar; a lo largo de este, se nombran los fundamentos fisiológicos en los que se basa la mecánica ventilatoria, tales como los músculos que participan en el ciclo respiratorio, propiedades estáticas y dinámicas del pulmón, los conceptos de distensibilidad – elastancia y las presiones en el aparato respiratorio, volúmenes y capacidades pulmonares. **Materiales y métodos:** Se efectuó una revisión bibliográfica de artículos tipo descriptivos, analíticos, experimentales en las bases de datos: ScienceDirect, PubMed, Scielo, en relación a la mecánica de la ventilación pulmonar. **Resul-**

Cita este capítulo / Cite this chapter

Peña Bartolo J, Segura Ordoñez A. Mecánica de la ventilación pulmonar. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 73-104.

tados: Como resultado se identifica que entre los factores físicos de la función pulmonar se encuentran la edad, el sexo, la talla, el peso y el grupo étnico. A estos se le suman los musculo- esqueléticos, como la morfología de la caja torácica y el desarrollo muscular. **Conclusiones:** Las dos grandes razones por las cuales las presiones dentro del pulmón varían desde el vértice hasta la base pulmonar son la gravedad y la postura. Cuando un individuo está en posición vertical sobre la superficie de la tierra, la gravedad ejerce una fuerza sobre los pulmones hacia abajo y los aleja del vértice de la caja torácica. Esta fuerza crea un mayor vacío en el vértice. De la misma forma, la gravedad también empuja las bases de los pulmones hacia la cavidad torácica, reduciendo allí las presiones. Estar de pie sobre la cabeza invertiría estas relaciones y posicionarse en decúbito lateral crearía un gradiente de presión intrapulmonar a lo largo de un eje frontal-horizontal.

Palabras clave: ventilación pulmonar, inspiración, flujo laminar, surfactante pulmonar, tensión superficial, mediciones del volumen pulmonar.

Abstract

Introduction: This chapter aims to mention the process of pulmonary ventilation, so throughout this, the physiological foundations on which the ventilatory mechanics is based are named, such as the muscles that participate in the respiratory cycle, properties statics and dynamics of the lung, the concepts of compliance - elastance and pressures in the respiratory system, lung volumes and capacities.

Materials and methods: A bibliographic review of descriptive, analytical and experimental articles was carried out in the databases: ScienceDirect, PubMed, Scielo, in relation to the mechanics of pulmonary ventilation. **Results:** As a result, it is identified that among the physical factors of lung function are age, sex, height, weight and ethnic group. To these are added the skeletal muscles, such as the morphology of the rib cage and muscle development.

Conclusions: The two major reasons why pressures within the lung

vary from the apex to the base of the lung are gravity and posture. When an individual is upright on the surface of the earth, gravity exerts a force on the lungs downward and away from the apex of the rib cage. This force creates a greater vacuum at the apex. In the same way, gravity also pulls the bases of the lungs into the chest cavity, reducing pressures there. Standing overhead would reverse these relationships and positioning in lateral decubitus would create an intrapulmonary pressure gradient along a frontal-horizontal axis.

Key words: pulmonary ventilation, inspiration, laminar flow, pulmonary surfactant, surface tension, lung volume measurements.

Introducción

El objetivo de la **respiración** es proporcionar oxígeno a todos los tejidos del cuerpo y retirar el dióxido de carbono como resultado del desecho metabólico celular. Para conseguir este objetivo es necesario llevar a cabo varios procesos; entre ellos está la **ventilación**, definida sencillamente como la entrada y salida de aire desde la atmosfera hasta los pulmones. Le sigue el proceso de **difusión**, que es llevado a cabo entre el alvéolo y el capilar pulmonar, donde el oxígeno del alvéolo pasa por medio de la barrera alveolo-capilar a la sangre, mientras el dióxido de carbono pasa al alvéolo para ser expulsado mediante la espiración. Con el propósito de que el oxígeno logre llegar a los tejidos el **transporte** de oxígeno, a través de la hemoglobina y el gasto cardíaco, estos juegan un papel fundamental como los principales transportadores y propulsores del oxígeno, respectivamente. Finalmente, cuando el oxígeno llega a los tejidos, se lleva a cabo el **consumo** de oxígeno necesario para el funcionamiento de los sistemas del organismo; la sangre desoxigenada proveniente de estos tejidos es retornada nuevamente al corazón y pulmón para iniciar el proceso de oxigenación y desecho de dióxido de carbono.

Para entender cómo se lleva a cabo el proceso de la ventilación, es necesario profundizar en la mecánica respiratoria, en los músculos y

otros aspectos que intervienen en la movilidad de la caja torácica durante la inspiración y espiración. El presente capítulo se centra en la ventilación y sus aspectos relacionados con la mecánica ventilatoria.

Conceptos de ventilación y perfusión

Cuando los compuestos orgánicos se oxidan y entran en la cadena electrónica, y luego generan energía en esta cadena, se produce la respiración celular bioquímica. Para la fisiología, la respiración está relacionada con la transferencia de gases.

- **Ventilación:** Hace referencia a la entrada y salida de aire.
- **Perfusión:** Hace referencia al flujo sanguíneo.

Si no hay capilares externos, los alvéolos bien ventilados son inútiles y viceversa. Por lo tanto, debe haber alguna relación entre los dos.

El aire debe ingresar a los alvéolos, que es un proceso controlado por la dinámica respiratoria. La presión deja entrar aire a través de la inhalación, porque la presión de los alveolos es más baja que la presión atmosférica. Durante la exhalación, el aire se expulsa a través del proceso inverso. Luego, el intercambio se lleva a cabo por medio de la membrana respiratoria, esta se encuentra compuesta por una capa de células alveolares y células endoteliales capilares. El gas se propaga por entre la membrana, mediante un gradiente de presión parcial. Una vez que el oxígeno ingresa a la hemoglobina, será responsable del transporte de todo el sistema circulatorio hasta que llegue a la célula y produzca la difusión.

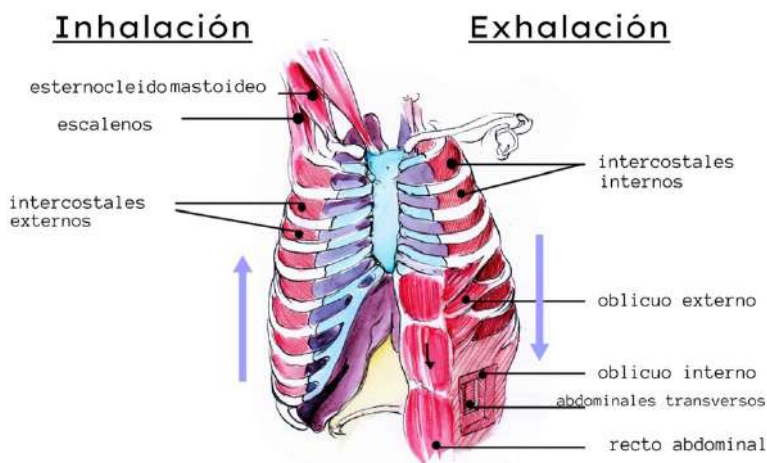
La respiración está regulada por neuronas que se denominan centro respiratorio, porque cuando se producen los potenciales de acción se transfieren hacia las neuronas de la médula espinal, responsables de la contracción de los músculos respiratorios. Los músculos respiratorios mueven la caja torácica y debido a que está adherida al bulbo, puede estimularla y aquí se produce la ventilación. La ventilación

proporciona difusión a través de la membrana respiratoria y a través de su propagación, transferirá O_2 a la sangre, a su vez, el CO_2 de la sangre pasa al alvéolo para su posterior eliminación.

Músculos que participan en el ciclo respiratorio

El desarrollo de la respiración es la primera etapa, que es básicamente el flujo de aire hacia adentro y hacia afuera de los pulmones. Cabe resaltar que este proceso es esencial para vivir; está encargado de proveerle el oxígeno completo a todo el conjunto de células en el cuerpo. Los músculos respiratorios juegan un papel crucial en este proceso, ellos son a menudo pasados por alto en la fisiología de la respiración, pero se debe mencionar el propósito que tienen, por eso es importante hablar sobre estos músculos (1).

Cabe decir que la contracción correcta de dichos músculos está directamente relacionada con el intercambio de gases entre los factores internos del cuerpo y los factores externos del entorno. Es importante considerar los músculos respiratorios. Ellos pueden promover y prevenir posibles causas relacionadas con la insuficiencia respiratoria. En el interior de los músculos respiratorios encontramos los músculos inspiratorios, el músculo principal es el diafragma, así como los intercostales externos, al igual que los pectorales, espinales, escalenos, subclavios y serratos (encargados de llevar aire a los pulmones). Sin embargo, desde otro ángulo encontramos los músculos espiratorios, conformados por los músculos de la pared abdominal, los cuales serían, el transverso del abdomen, los oblicuos, piramidal, el recto mayor del abdomen y los intercostales internos (encargados de expulsar el aire de los pulmones). En la figura 22 se evidencian los músculos que intervienen en la respiración.

Figura 22. Músculos del ciclo respiratorio

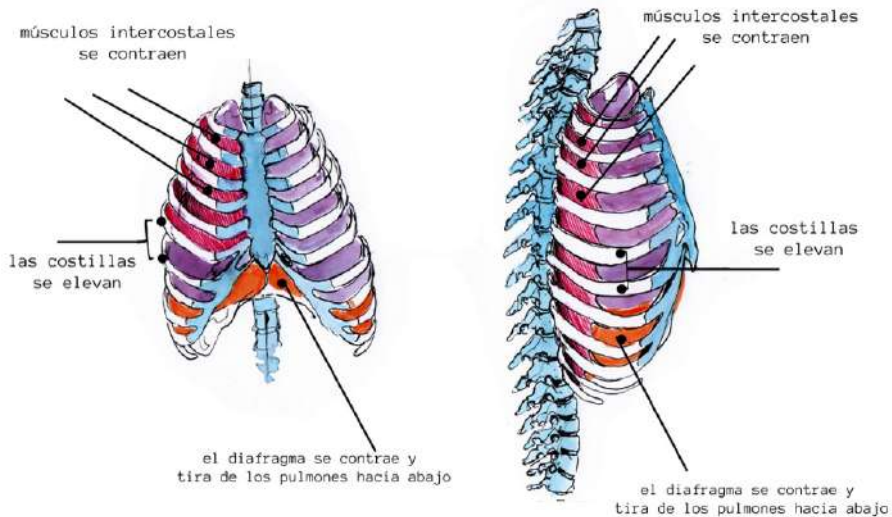
Fuente: Elaboración propia.

Inspiración

La entrada de aire hacia los pulmones se da por el aumento de dos diámetros: el **diámetro vertical** y el **diámetro anteroposterior** del tórax. La inspiración se produce casi totalmente por el aumento del **diámetro vertical** del tórax, el cual produce el movimiento hacia arriba alargando la cavidad torácica y hacia abajo acortándola. Este movimiento se debe al principal músculo respiratorio: el **diafragma**, que se encuentra en el tórax y divide la región torácica de la abdominal, a través del hemidiafragma derecho que separa la base pulmonar derecha del hígado, mientras que el hemidiafragma izquierdo separa la base pulmonar izquierda del estómago. Posee tres puntos de origen: Lumbar: L1 – L3 cruz derecha, L1 – L2 cruz izquierda, costal: últimas seis pares de costillas y esternal: a nivel del proceso xifoideo del esternón y un punto común de inserción: el centro frénico. Su innervación está dada por el nervio frénico que comprende las raíces: C3-C4-C5 (1).

En la figura 23 se observa el ciclo de la inspiración donde la caja torácica aumenta su volumen y el aire entra a los pulmones.

Figura 23. Ciclo inspiratorio.



Fuente: Elaboración propia.

En el momento que el diafragma se contrae permite el desplazamiento de los músculos abdominales hacia abajo, este proceso aumenta el volumen intratorácico; es responsables del desplazamiento de alrededor del 60 – 75% del volumen corriente. El **movimiento paradójico del diafragma**, se debe a una parálisis de este músculo usualmente relacionada con la lesión del nervio frénico, como resultado el diafragma que durante la inspiración normalmente se desplaza hacia abajo, se desplaza hacia arriba a causa de una disminución de la presión intratorácica (1).

Fisiológicamente el diafragma en un adulto sano posee hasta un 80% de fibras resistentes a la fatiga (55% de tipo I, 25% de tipo IIa) relacionado con el 40% de un músculo periférico, capacitando dicho músculo para llevar a cabo trabajos de poca intensidad, pero de duración extendida.

Las diferentes fibras musculares que se puede encontrar son:

Fibras musculares tipo I: Contracción lenta y metabolismo oxidativo, resistentes a la fatiga.

Fibras musculares tipo II: Contracción rápida, se dividen en:

- **II A:** Potencial glicolítico, resistentes a la fatiga.
- **II B:** Glicolíticas, altamente fatigables.

La forma de cúpula del diafragma le proporciona características necesarias para generar presión; al parecerse a una hemiesfera es posible aplicar la **Ley de Laplace- Young**, en donde:

$$P = 2T/r$$

P = Presión, T = Tensión, r = radio de curvatura

Entonces, entre menor sea el radio de la curvatura del diafragma para una contracción generada por este músculo, mayor será la presión generada.

Analizando el caso en individuos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el diafragma pierde su convexidad y se aplanar debido al incremento del volumen pulmonar, colocándolo en desventaja mecánica para una tensión muscular generada, en donde la presión resultante será menor. La forma de la cúpula del diafragma permite que en su parte lateral haga contacto con las últimas cinco costillas, esta zona se conoce como **Zona de aposición del diafragma**; al disminuir la presión intratorácica el diafragma desciende y se inicia la inspiración lo que genera a su vez un incremento de la presión intrabdominal, que favorece el desplazamiento laterolateral y anteroposterior de la caja torácica, generando incremento del volumen pulmonar. Los pacientes con EPOC entonces, además de tener disminución de la capacidad de generar presión relacionada con el

aumento del radio del diafragma; también tendrán menor capacidad de obtener volúmenes pulmonares debido a la pérdida del área de aposición (1).

El aumento del **diámetro anteroposterior** del tórax, también favorece el ingreso del aire al interior de los pulmones. Su incremento se debe al encogimiento en los músculos **intercostales externos**, los cuales enlazan las costillas adyacentes y se dirigen hacia abajo y hacia adelante, permitiendo que las costillas que se encuentran inclinadas hacia abajo se desplacen hacia adelante, retirándose así de la columna vertebral y del esternón, la caja torácica se dirige hacia arriba y hacia adelante; este movimiento se conoce como: **movimiento en asa de balde**. Los músculos intercostales externos, son responsables de movilizar alrededor del 25 -40% del volumen corriente.

La inervación de los músculos intercostales está dada por los nervios intercostales; si estos músculos sufrieran una parálisis, la eficacia ventilatoria podría mantenerse, ya que el diafragma genera la mayor ventaja mecánica durante la inspiración (1).

Al igual que el diafragma los músculos intercostales internos presentan un dominio del 60% en fibras tipo I, a su vez un 40% de fibras tipo II, y un 25% correspondiente a las de tipo IIb; así como los músculos intercostales externos muestran, una media en fibras tipo I del 30 - 60%.

El encogimiento presentado por el diafragma y los intercostales externos son los responsables de la **inspiración pasiva**; esta se da de manera involuntaria a nivel del centro respiratorio ubicado en el bulbo raquídeo; se estimula a través de una vía descendente a las moto-neuronas alfa ubicadas en el segmento medular C3 – C5, y a la de los segmentos torácicos. Para llevar a cabo una **inspiración forzada**, se requiere del reclutamiento de otros grupos musculares que son considerados como accesorios de la inspiración, estos son conocidos como los esternocleidomastoideos, los cuales contribuyen elevando el esternón, así mismo, los escalenos quienes contribuyen con la elevación de las dos primeras costillas, de igual forma, los serratos an-

teriores elevan gran parte de las costillas, los músculos del ala de la nariz que producen un incremento del diámetro de las fosas nasales y son descritos también, algunos pequeños músculos de cabeza y cuello. La inspiración forzada, se puede presentar secundaria a realizar ejercicio físico, que requiera aumento de la ventilación, también en condiciones de falla ventilatoria relacionada con deficiencias en la ventilación - perfusión, o de manera voluntaria; es decir se desea de manera consciente realizar una inspiración más profunda.

Espiración

La **espiración pasiva** conlleva a la salida del aire de los pulmones que ocurre como resultado de la relajación del diafragma y del retroceso elástico pulmonar y de la cavidad torácica. La característica en los pulmones y de la cavidad torácica, es que poseen un componente elástico, lo que quiere decir que después de haberse completado la expansión durante la inspiración, estos generaran fuerza para retornar a la posición inicial. La **espiración forzada** puede darse de forma voluntaria, durante el ejercicio o también en condiciones de falla ventilatoria. Entre los músculos que intervienen se encuentran los intercostales internos, que ejercen la acción contraria a los intercostales externos, según la disposición en que se encuentran sus fibras estas permiten movilizar las costillas hacia abajo y adentro. Los músculos abdominales los cuales incluyen al recto del abdomen, los oblicuos internos y externos, el transverso del abdomen, al contraerse en conjunto movilizan las costillas inferiores hacia abajo, aumentan la presión intrabdominal, desplazando el diafragma hacia arriba, lo que conlleva a la salida del aire intrapulmonar (1).

Ciclo inspiratorio

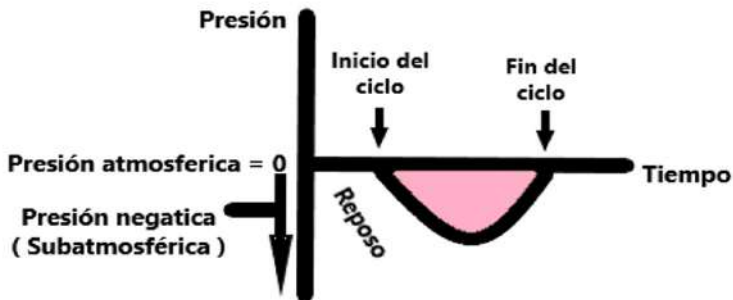
El ciclo inspiratorio corresponde al trabajo de desplazamiento de gas a partir del ambiente en dirección a los alveolos. El diafragma es considerado el musculo fundamental en la fase inspiratoria, dado que su actividad genera alrededor del 80% del trabajo necesario para que la inspiración se genere (1).

La inspiración tranquila inicia con el encogimiento del diafragma, músculo fundamental inspirador; al producirse una disminución en el centro frénico, ocurre un incremento en el diámetro vertical del tórax y choca con las vísceras que tienden a moverse hacia adelante lo cual es contenido por la faja abdominal. Se puede encontrar diferentes músculos que asisten a la disminución del diafragma, levantando las costillas estos son:

- Intercostales externos.
- Supra costales.
- Serratos posteriores superiores.

Es primordial tener en cuenta que, a lo largo de este ciclo, la presión será negativa; en el momento en que esta es equivalente a cero el gradiente de presión desaparece, esto precisa físicamente la terminación del ciclo. La figura 24 presenta la curva presión tiempo del ciclo inspiratorio.

Figura 24. Curva presión-tiempo ciclo inspiratorio.



Fuente: Elaboración propia.

Ciclo espiratorio

El ciclo espiratorio comienza inmediatamente después de finalizado el inspiratorio. Para que este se genere se deben cumplir tres situaciones iniciales:

- El gradiente de presión del ciclo inspiratorio debe ser equivalente a cero.
- El volumen intrapulmonar debe encontrarse por encima del volumen de reposo.
- Los músculos del ciclo inspiratorio deben encontrarse relajados.

A continuación, debe efectuarse un gradiente de presión el cual fomenta el viaje de gases a partir de los alvéolos hacia el ambiente; en otras palabras, se debe producir una presión supra atmosférica intratorácica con el fin de generar el vaciado pulmonar(1).

A diferencia del ciclo inspiratorio, en la espiración normal no participan músculos generadores del ciclo.

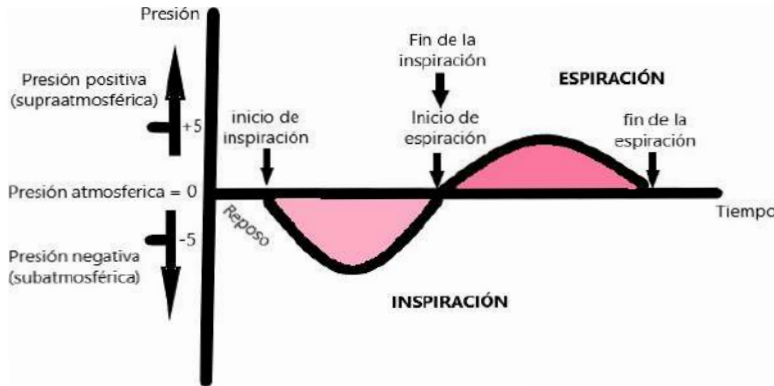
Los pulmones están compuestos por fibras elásticas, lo cual facilita su estiramiento en el ciclo inspiratorio, no obstante, una vez que finalice la fuerza ejercida por los músculos inspiratorios, los pulmones retornan a su posición inicial, debido al retroceso elástico pulmonar con el fin de realizar la espiración.

En otros términos, en circunstancias de ventilación normal, el ciclo es pasivo, esto confirma que no se necesita de una contracción muscular para llevar a cabo su realización. Por lo tanto, a lo largo de su periodo, actúan los músculos intercostales internos, encargados de limitar la cavidad torácica con el objetivo de facilitar la espiración (1).

En la espiración forzada se manifiesta una variación importante en el valor de la presión transpulmonar, dado que esta se convierte en negativa. Al concluir la espiración forzada, la presión intrapleural será positiva, como efecto del aumento de todos los valores de presión en el interior de la cavidad torácica, seguido a la contracción de los músculos abdominales, así como la presión intra alveolar es cero a causa de que ha concluido la espiración forzada (1).

En la figura 25 se observa la curva presión tiempo a lo largo del ciclo ventilatorio.

Figura 25. Curva presión tiempo a lo largo del ciclo ventilatorio



Fuente: Elaboración propia

Conceptos de distensibilidad, elastancia y resistencia

Los pulmones tienen la característica de ser distensibles y elásticos a la vez. Cuando se habla de distensibilidad pulmonar, se hace referencia al cambio de volumen de aire movilizado al pulmón, por el cambio de gradiente de presión, necesario para introducir dicho volumen; mientras, que la elasticidad pulmonar permite, luego de que exista una deformación debido al aumento de presión, volver al punto de reposo. Un ejemplo de un objeto elástico es la banda elástica, que después de que se estira para deformarla al soltarla vuelve a su tamaño original. La elasticidad pulmonar está determinada mediante fibras de elastina y colágeno que se encuentran unidas al parénquima pulmonar, cuando el pulmón se encuentra desinsuflado, durante la inspiración que aumenta el volumen pulmonar, las fibras de elastina y colágeno se posicionan linealmente, de tal manera que adquieren mayor capacidad elástica (2).

Si el pulmón se encontrara fuera de la caja torácica, este tendería a colapsarse, mientras si la caja torácica estuviera por fuera ésta ten-

dería a expandirse; la razón es que ambos son cuerpos elásticos cuyo punto de reposo se opone y dependen de la relación entre las pleuras. Para medir la distensibilidad en la respiración espontánea, se requiere conocer de la presión intrapleuraleal y el volumen corriente. La medición de la presión intrapleuraleal se puede realizar de manera indirecta mediante la inserción de un catéter esofágico, a través de una sonda nasogástrica, siendo esta un procedimiento invasivo (2).

Los conceptos de distensibilidad y resistencia pulmonar son mencionados a continuación:

Concepto de distensibilidad

Se conoce como distensibilidad a la habilidad poseída por el pulmón al dejarse distender. Este proceso encamina el gas insuflado a los pulmones aplicando una presión la cual vence la resistencia elástica, a causa de la expansión que ofrecen los pulmones y la pared torácica. Al enlace creado por el gradiente de presión y el aumento de volumen pulmonar se le conoce como distensibilidad (2).

A continuación, se presenta la fórmula para medir la distensibilidad.

$$D = \Delta V / \Delta P$$

Conceptos: Distensibilidad (D), Delta de volumen (ΔV), Delta de presión (ΔP)

En los pacientes en ventilación mecánica la medición de la distensibilidad estática y dinámica se puede realizar con información del ventilador mecánico, como mediciones y parámetros, lo que aporta datos interesantes para el manejo clínico del paciente. Para calcular **la distensibilidad dinámica**, entonces:

$$DD = VC / P_{pico} - PEEP$$

DD = Distensibilidad dinámica, **VC** = Volumen corriente, **Ppico** = Presión pico (Generada para concluir la resistencia elástica y de la vía

aérea), PEEP: Presión positiva al final de la espiración.

Para calcular la **distensibilidad estática**, la ecuación sería de la siguiente manera:

$$DE = VC / P_{meseta} - PEEP$$

DE = Distensibilidad estática, **VC** = Volumen corriente, **Pmeseta** = Presión meseta (obtenida en la pausa del flujo aéreo y representa la presión dentro del alvéolo), **PEEP**: Presión positiva al final de la espiración.

Cabe aclarar que en este tipo de medición se hace un cálculo de la distensibilidad total del sistema respiratorio, porque no se puede diferenciar entre la distensibilidad del pulmón y la de la cavidad torácica (2).

La disminución en la distensibilidad, puede ser causada por la presencia de:

- Edema alveolar donde los alvéolos se hallan saturados de líquido y no se logran expandir.
- Atelectasia o colapso de un lóbulo o campo pulmonar.
- Enfermedades restrictivas como: fibrosis pulmonar asociada a aumento del tejido fibroso, síndrome de distrés respiratorio agudo del adulto.
- Enfermedades obstructivas como el asma bronquial, debido a que presenta dificultad para espirar.
- Paciente en ventilación mecánica cuando se utilizan relajantes musculares, se manifiesta en disminución del volumen expirado debido a la desventaja mecánica del diafragma.
- El aumento del volumen pulmonar sanguíneo aumenta la rigidez pulmonar, cualquiera que sea la causa de la congestión venosa pulmonar.
- Incremento en la tensión superficial de los alvéolos (2).

Concepto de resistencia

La resistencia se presenta en el momento que acceden y salen por medio de la vía respiratoria y de los pulmones volúmenes de gases, la cual está condicionada no solo mediante el volumen propio, sino también por su velocidad y fisonomía del flujo. La resistencia está sujeta a la permeabilidad, diámetro y la longitud de la vía, a su vez de la viscosidad del gas. Una vía respiratoria angosta brindará una mayor resistencia y reduce la velocidad del flujo (2).

Jean Léonard Marie Poiseuille explica magníficamente estos eventos, demostrando que la resistencia es directamente equitativa a la viscosidad del fluido y el tamaño del canal e inversamente equitativo al radio del canal elevado a la cuarta potencia:

Ley de Poiseuille

$$R = \frac{8nl}{r^4}$$

Ahora para entender mejor el concepto anterior se realizarán los siguientes ejercicios, analice cuidadosamente:

- Ejemplo 1: La resistencia de un fluido a través de un tubo donde $l = 20$ cm, $n = 2$ y el diámetro interno es $= 8$, entonces: Resistencia $= 8 (20 * 2) / (4)^4$ el resultado sería $= 1,25$. Recuerde que el radio es la mitad del diámetro interno, en este caso sería 4 .
- Ejemplo 2: Ahora con los mismos datos del ejercicio anterior, solo que ahora el diámetro interno es 4 cm es decir 2 cm de radio. Reemplazando la fórmula: Resistencia $= 8 (20 * 2) / (2)^4$ el resultado sería $= 20$.
- Ejemplo 3: Finalmente con los datos del primer ejemplo, solo que ahora se incrementa al doble la longitud del tubo, tenemos que $l = 40$ cm, $n = 2$ y $r = 4$: Resistencia $= 8 (40 * 2) / (4)^4$ el resultado sería $= 2,5$.

Al analizar la Ley de Poiseuille, es importante observar las consecuencias que tiene el disminuir el radio sobre la resistencia. La resistencia paso a ser =20 en el ejemplo 2, comparada con 1,25 en el ejemplo 1 solo por disminuir el radio a la mitad, es decir que **aumentó 16 veces**.

Por el contrario, en el ejemplo 3, la resistencia paso a ser = 2,5 cuando la longitud del tubo se incrementó al doble; comparado con el ejemplo 1 la resistencia al incrementar la longitud solo **aumenta el doble**. Lo mismo pasaría si se incrementara la viscosidad del gas, el aumento de la resistencia se doblaría.

En diferentes condiciones clínicas no se espera que se modifique la longitud de la vía aérea o la viscosidad del gas, pero las patologías que llevan a obstrucción de la vía aérea generan una disminución importante del radio, causando insuficiencia respiratoria, como es el caso de patologías como el asma, la bronquiolitis y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (3).

La resistencia del sistema respiratorio es una combinación entre la resistencia contra la deformación de los tejidos y el pulmón en la cavidad torácica, conocida como resistencia elástica y la resistencia al flujo de gas en la vía aérea. El flujo de gas en el pulmón debe pasar por el árbol traqueobronquial hasta llegar a los alvéolos, la resistencia al paso del gas es conocida como resistencia no elástica (3).

El flujo laminar

Se presenta cuando la velocidad del flujo es baja, es decir, que el volumen corriente es bajo y el flujo circula por vías aéreas sin ramificaciones, en donde el aire se deslizará uno sobre otro a diferentes velocidades y en donde el más central se desplazará de manera más rápida, mientras el que se encuentra más lateral junto a la pared bronquial, será más lento (4).

El flujo turbulento

Se origina cuando el aire circula a alta velocidad siendo entonces el flujo más rápido y se forman remolinos o turbulencias que se incrementan, si se presentan ramificaciones como las de la vía aérea (4).

Las moléculas de aire se desplazan de forma irregular en la progresión a lo largo del tubo, con un frente cuadrado que reemplaza el frente cónico del flujo laminar. El flujo turbulento casi siempre presenta una alta resistencia al flujo aéreo lo cual es un problema; el frente cuadrado significa que el aire no llegará al final de la vía aéreas, es decir hasta el alvéolo, a no ser que ingrese un volumen de aire como mínimo equivalente al de la vía aérea. Las fuerzas friccionales en medio de la pared de la vía aérea y el fluido se vuelven más importantes en el flujo turbulento, la conexión entre el gradiente de presión y la velocidad de flujo difiere de la relación descrita en el flujo laminar en varios aspectos importantes:

- El gradiente de presión es proporcional al flujo al cuadrado.
- El gradiente de presión es proporcional a la densidad del gas y es independiente de la viscosidad.
- El gradiente de presión requerido es inversamente equitativo a la quinta potencia del radio del canal.

La importancia de conocer las características del flujo turbulento en la práctica clínica permite modificar ciertas acciones para disminuir la resistencia. En el caso de las patologías que lleven a obstruir las vías aéreas como es el caso de la EPOC y el asma donde el flujo aéreo se caracteriza por ser turbulento, es posible aplicar presión positiva a través de ventiladores mecánicos para disminuir la resistencia al flujo.

También se puede utilizar heliox que es una mezcla de oxígeno y helio, un gas con una densidad menor para disminuir la resistencia al flujo, desarrollar un flujo más laminar y de esta manera lograr disminuir el trabajo respiratorio; este puede ser aplicado en el paciente

que se encuentra en el ventilador mecánico o en el paciente en respiración espontánea a través de una máscara (4).

La naturaleza del flujo aéreo está determinada por el **número de Reynolds**, permite saber si se trata de un flujo laminar o turbulento en los conductos lisos y rectos sin presencia de ramificaciones. Se deriva de la siguiente expresión:

$$Re = vrd/\eta$$

v = velocidad lineal del gas, **r** = radio del tubo, **d** = densidad del gas

η = viscosidad del gas.

Cuando el número de Reynolds se encuentra por debajo de 2000 el flujo es predominantemente laminar, si se encuentra por encima de 4000 el flujo es principalmente turbulento. Entre estos valores pueden coexistir ambos tipos de flujo.

En el árbol traqueo bronquial existen múltiples ramificaciones, superficies irregulares y cambios de calibre que generan dificultad en la aplicación de los principios descritos anteriormente. En las vías aéreas pequeñas al igual que en los bronquiolos terminales, el número de Reynolds es muy bajo alrededor de 1, resultando en un flujo laminar, las vías aéreas en su mayor parte podrían contener flujo con características intermedias, denominado de transición, mientras en la tráquea el flujo suele ser turbulento.

Si se analiza con detenimiento la ley de Poiseuille menciona que la resistencia para el flujo laminar es inversamente proporcional al radio a la cuarta potencia; sería lógico pensar que en las vías aéreas de pequeño calibre se presenta una mayor resistencia, sin embargo, se ha comprobado que las vías aéreas con calibre menor a 2 mm ofrecen menos del 20% de la resistencia al paso del aire, esto se debe al incremento del área de sección transversal, a partir de la octava generación bronquial, en donde los bronquiolos de pequeño calibre se encuentran distribuidos de forma numerosa y paralela, que en suma-

toria proporcionan una vía aérea de diámetro mayor y en donde el flujo se vuelve más laminar a partir de la onceava generación bronquial. Siendo entonces el mayor sitio de resistencia las vías aéreas superiores y la tráquea (4).

Propiedades estáticas y dinámicas del pulmón

La tabla 5, resume las propiedades estáticas relacionadas con distensibilidad y dinámicas con relación al flujo y resistencias pulmonares.

Tabla 5. Propiedades estáticas y dinámicas pulmonares.

PROPIEDADES ESTÁTICAS DEL PULMÓN: DISTENSIBILIDAD	PROPIEDADES DINÁMICAS: FLUJO Y RESISTENCIAS
D = volumen / presión. En patologías obstructivas como el asma, la distensibilidad se incrementa. La distensibilidad, presión y la tendencia de los pulmones al colapso es menor a igual volumen. En patologías restrictivas como la fibrosis, la distensibilidad se reduce, la presión y la tendencia al colapso es superior a igual volumen en dichos casos.	Flujo transicional: • Inestabilidad en las ramificaciones. • Desorganización total de la línea de corriente. • Formación de remolinos locales. • Flujo turbulento Flujo laminar: • Bajas tasas de flujo. • Las líneas de corriente son paralelas a la pared del tubo.

Fuente: elaboración propia

El concepto de elastancia

Es la capacidad que posee un órgano para retornar a su forma y dimensión inicial, una vez la tensión de deformación haya sido supri-

mida. En otros términos, la tensión necesaria para obtener una deformación elástica. La intensidad de la elastancia se adquiere al dividir la tensión de deformación por la deformación elástica obtenida (4).

Elasticidad pulmonar y de la caja torácica

Si combinamos la elasticidad torácica y la relajación del diafragma, se evidenciará una disminución en el volumen del tórax.

En la espiración forzada el conjunto de músculos abdominales impulsa el diafragma hacia arriba fuertemente. Dichos músculos asimismo se contraen de forma forzada en condiciones como la tos, el vómito y la defecación. Al mismo tiempo, los músculos intercostales internos halan de la parrilla costal hacia abajo y hacia el interior de la cavidad torácica (contrario a los intercostales externos), reduciendo el volumen torácico y fortaleciendo los espacios intercostales. Así, dichos músculos ejercen presión contra los pulmones ayudando así la espiración forzada (5).

Finalmente, en la espiración, sea tranquila o forzada, la presión intraalveolar se empata a la presión atmosférica. Estas dependen de las características elásticas de las estructuras del sistema respiratorio. En otras palabras, es la capacidad que posee un cuerpo de volver a su estado inicial luego de haber estado deformado (5).

Propiedades mecánicas del pulmón

Los niveles de ventilación son regulados por medio del centro respiratorio diferenciando las necesidades metabólicas, el equilibrio ácido-base y el estado gaseoso de la sangre, así mismo, de las capacidades mecánicas que posee el conjunto pulmón-cavidad torácica.

La ventilación pulmonar tiene como objetivo transportar oxígeno hacia el espacio alveolar, para que se lleve a cabo un intercambio con el espacio capilar pulmonar y lograr la evacuación del CO₂ creado a nivel metabólico. El pulmón posee características mecánicas las cuales son:

Viscosidad

La viscosidad es generada en el momento que se produce una fricción interna ocasionada por el tejido pulmonar y un gas circulando por las vías aéreas. En el sistema respiratorio se determina y cuantifica por el cambio de presión correspondiente al flujo aéreo.

Tensión Superficial

Esta tensión es generada a causa de las fuerzas cohesivas en las moléculas de un fluido y la capa de la superficie alveolar. Estas fuerzas son dependientes de la curvatura presentada en la superficie del fluido y de su composición. En otras palabras, denominada como una fuerza que actúa sobre una línea imaginaria de 1cm de largo sobre la superficie de un líquido; esta se genera debido a una atracción superior entre las moléculas del líquido que unidas a las del gas de la interfase (líquido-aire), resultan en la disminución de la superficie del líquido.

La tensión superficial es la que permite observar que un pequeño insecto puede caminar sobre el agua sin hundirse, también, es la explicación de que al derramarse agua sobre una superficie esta tienda a juntarse y formar estructuras semiesféricas, debido a que es mayor la atracción que tienen las moléculas de agua entre sí que la presentada en moléculas de aire. Otro ejemplo es la presencia de líquido entre dos superficies de vidrio al intentar separarlas de manera perpendicular, cuesta mucha dificultad y es debido también a la atracción que tienen las moléculas de aire (6).

Surfactante

Disminuye la tensión que ejerce la interface aire - líquido. La baja tensión superficial del líquido de revestimiento alveolar y la dependencia del radio alveolar, se debe a la presencia de un material de superficie activo conocido como surfactante pulmonar.

El 90% del surfactante está compuesto por lípidos y el resto por apoproteínas llamadas: A, B, C y D, pequeñas cantidades de hidratos de carbono y iones como el calcio. La mayoría de los lípidos son fosfolípidos de los cuales el 70 - 80% es dipalmitoil-fosfatidilcolina (DPFC), componente principal responsable de ejercer el efecto sobre la tensión superficial. Los ácidos grasos son hidrofóbicos y generalmente se encuentran rectos paralelos entre sí y se proyectan en la fase gaseosa.

El otro extremo de la molécula es hidrofílico y se encuentra en el revestimiento alveolar; esto genera una fuerza repulsiva intermolecular que se opone a las fuerzas de atracción generada por la tensión superficial, entre las moléculas de las superficies del líquido, entre más comprimidas se encuentren las moléculas de DPFC, lograrán disminuir más la tensión en la superficie.

Dentro de los alvéolos pulmonares se encuentran dos tipos de células: las células alveolares tipo I, o neumocitos tipo I, que poseen prolongaciones citoplasmáticas y se esparcen a lo largo de las paredes de los alvéolos; y las células alveolares tipo II o neumocitos tipo II, que tienen en su interior cuerpos laminares que salen a la luz alveolar y son las encargadas de la producción del surfactante pulmonar. Los cuerpos laminares contienen tensioactivos almacenados que se liberan en el alveolo por exocitosis, en respuesta a la alta inflación de volumen pulmonar, al aumento de la tasa de ventilación o a la estimulación endocrina.

La presencia de surfactante permite también evitar el edema pulmonar asociado al paso de líquido de los capilares a los alvéolos, si este no estuviera presente, la tensión superficial reduciría la presión hidrostática del intersticio y el líquido pasaría de los capilares al alvéolo (6).

Histéresis

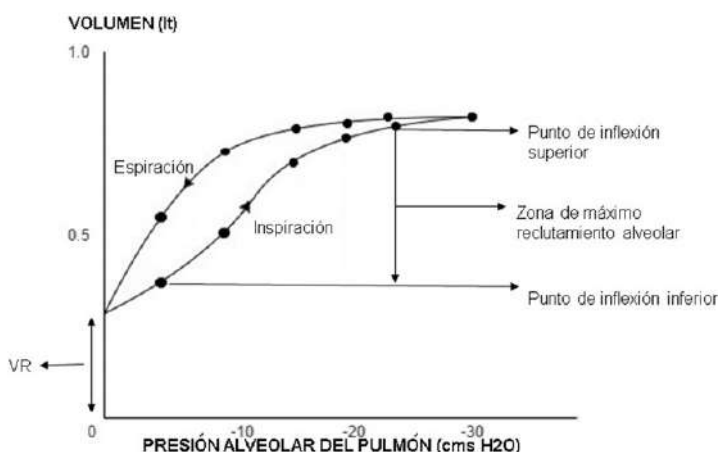
Es la relación entre la variación del volumen por cambio de presión; es diferente para la inspiración y la espiración. Al analizar los cambios de presión transpulmonar para un volumen pulmonar particu-

lar, el retroceso elástico del pulmón durante la espiración, es siempre menor que el gradiente de presión de distensión transmural necesario durante la inspiración; en el mismo volumen pulmonar, este comportamiento se conoce como **histéresis pulmonar**.

Un ejemplo de comportamiento no lineal en los sistemas biológicos se debe principalmente a la presencia del surfactante pulmonar. Se le conoce como el fenómeno por el cual una fuerza persiste más de lo que dura la misma. El pulmón se sostiene por unos segundos durante cada presión, en este tiempo se mide su volumen. Al generarse la curva esta no será lineal y se aplanará al someterse a grandes presiones. Se contempla que las curvas que genera el pulmón a lo largo de su insuflación y deflación son distintas. Dicha conducta es conocida como histéresis.

A lo largo de la curva de deflación el volumen pulmonar es mayor que el presentado a lo largo de la curva de insuflación, a los mismos niveles de presión (Figura 26).

Figura 26. Curva presión volumen.



Fuente: Elaboración propia.

Presiones pulmonares

A continuación se describen la presión alveolar, la presión intrapleural y la presión transpulmonar (PTP).

Presión alveolar

Es la presión del aire contenido en los alvéolos. Al finalizar un ciclo respiratorio la presión alveolar y la presión atmosférica deben ser equivalentes; la presión alveolar será equivalente a cero, en otras palabras, si no existe flujo aéreo, tampoco habrá un descenso de presión en las vías respiratorias. A fin de que existan ciclos inspiratorios la presión alveolar disminuye.

La intensidad de este descenso se da del índice de flujo y la resistencia de las vías respiratorias. La presión alveolar, es la presión que ejerce el aire que se almacena dentro de los alvéolos pulmonares. Los gases que se encuentran en el ambiente están a una presión atmosférica determinada, por ejemplo, tomando como referencia el nivel del mar estos serían de 760 mmHg. Al final de una espiración pasiva, los músculos respiratorios se hallan en reposo y la presión en el alvéolo es igual que la atmosférica que para el nivel del mar sería entonces de 760 mmHg; es decir, que la presión en la atmósfera y en el alvéolo es igual a: 0 CmH₂O.

Para movilizar un volumen de aire hacia el interior del pulmón es necesario generar un gradiente de presión, esto se logra al contraerse el diafragma y los intercostales externos, donde los diámetros del tórax aumentan y la presión intraalveolar se hace más negativa que la atmosférica, alrededor de -1 CmH₂O, movilizándolo alrededor de 500 mililitros dentro del pulmón. Para la espiración la presión alveolar debe aumentar +1 CmH₂O para generar la salida del aire intrapulmonar (6).

Presión intrapleuraleal

La presión intrapleuraleal, es definida como la presión que acciona el líquido que se encuentra entre la pleura parietal y la pleura visceral. La presión pleural normal durante el inicio del ciclo inspiratorio es de $-5 \text{ CmH}_2\text{O}$; durante la inspiración pasiva la caja torácica se expande llevando los pulmones hacia afuera lo que genera un incremento de la presión negativa alrededor de $-7 \text{ CmH}_2\text{O}$ aumentando el volumen pulmonar en un promedio de 500 mililitros (7).

Presión Transpulmonar (PTP)

Es la diferencia existente entre la presión alveolar y la pleural, representada como la medida de las fuerzas elásticas de los pulmones, ya que estos colapsarán en cada grado de expansión, esto es llamado retracción elástica. Es una de las presiones transmurales que puede medirse en el aparato respiratorio.

La siguiente formula muestra cómo calcular la PTP (7):

$$\text{PTP} = \text{Presión Alveolar} - \text{Presión Intrapleuraleal}$$

Volúmenes y capacidades pulmonares

Los volúmenes respiratorios son aquellos valores comunes obtenidos de los distintos parámetros los cuales se pueden medir en el sistema respiratorio y que serán útiles, en situaciones patológicas en las que se puede presentar una variación en estos valores (8).

Volumen Tidal – VT:

Conocido como el volumen de aire que ingresa y abandona los pulmones en un ciclo de respiración normal.

Posee un valor promedio (media) 450 – 550 ml.

Volumen de Reserva Inspiratorio – VRI:

Es el volumen de aire que ingresa a los pulmones mediante una inspiración máxima, conocida como forzada, adicional al volumen corriente. Posee un valor promedio (media) 3000ml.

Volumen de Reserva Espiratorio – VRE

Es el volumen de aire expulsado por parte del pulmón en una espiración forzada adicional al volumen corriente. Posee un valor promedio de (media) 1200 ml (5)

Volumen Residual – VR:

Es el volumen de aire el cual se encuentra almacenado en el interior de las vías respiratorias y a su vez en el interior de los pulmones, el cual no fue expulsado después de una espiración forzada. Este volumen asegura el llenado parcial que poseen los pulmones. Como valor promedio (media) 1200 ml.

En base a la combinación generada por estos volúmenes surgen las capacidades pulmonares. La tabla 6 muestra las capacidades pulmonares.

Tabla 6. Capacidades pulmonares.

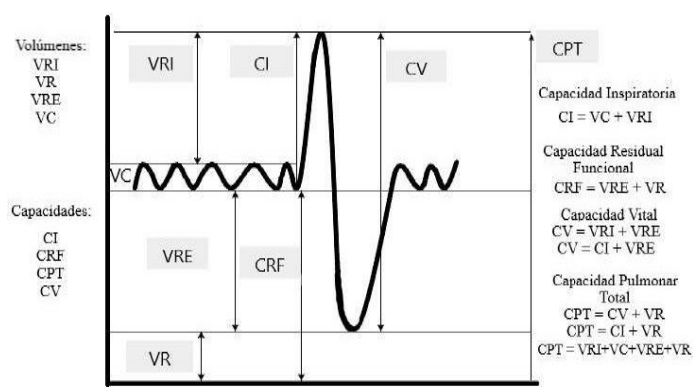
LAS CAPACIDADES PULMONARES SON AQUELLAS MEDIDAS ESTABLECIDAS, LAS CUALES NOS FACILITAN CALCULAR SI EXISTEN INSUFICIENCIAS RESPIRATORIAS
Capacidad Inspiratoria (CI):
Es la proporción total de aire permitida para ingresar en los pulmones después de una inspiración forzada.
Volumen Tidal+ Volumen de Reserva Inspiratorio: $500 + 3000 = 3500$ ml.
Capacidad Espiratoria (CE):
Es la proporción de aire la cual se puede expulsar de los pulmones después de una espiración máxima.

LAS CAPACIDADES PULMONARES SON AQUELLAS MEDIDAS ESTABLECIDAS, LAS CUALES NOS FACILITAN CALCULAR SI EXISTEN INSUFICIENCIAS RESPIRATORIAS
Capacidad Espiratoria (CE):
Volumen Tidal + Volumen de Reserva Espiratorio: 500 + 1200 = 1700 ml.
Capacidad Residual Funcional (CFR):
Es la proporción de aire el cual permanece almacenado en los pulmones después de una espiración tranquila.
Volumen de Reserva Espiratorio + Volumen Residual: 1200 + 1200 = 2400 ml.
Capacidad Vital (CV):
Esta es una de las primordiales medidas respiratorias. Es el Volumen Tidal + Volumen de Reserva Inspirado + Volumen de Reserva Espiratorio: 500 + 3000 + 1200 = 4700 ml.
Esta se ve alterada por la constitución física, el sexo y la talla. De igual forma, se considera la proporción de aire la cual es expulsada por medio de una espiración forzada después de una inspiración forzada.
Capacidad Pulmonar Total (CPT):
Cuantifica la proporción de aire máxima, la cual podrá ingresar en el pulmón. Capacidad Vital + Volumen Residual = 5900 ml.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 27 muestra los volúmenes y capacidades pulmonares.

Figura 27. Volúmenes y Capacidades Pulmonares.



Fuente: Elaboración propia

Componentes de los volúmenes y capacidades pulmonares

Hay otros componentes que influyen en los volúmenes y capacidades pulmonares.

Índice de TIFFENEAU – IT

Es la interacción a través del volumen espiratorio forzado en el primer segundo y el volumen básico. El volumen espiratorio forzado en el primer segundo se refiere a la proporción de aire que se logra expulsar a través de la espiración forzada en un segundo. Adicionalmente, si dividimos este valor, el índice de TIFFENEAU. El valor normal es 0.8; lo que quiere mencionar es que, en el primer segundo, el 80% de la capacidad del sujeto suele salir forzosamente a lo largo del primer segundo (9).

Espacio Muerto Fisiológico (EMF)

Es parte del aire contenido en el tracto respiratorio y los alvéolos y no participa en el intercambio de gases. Se compone de espacio muerto anatómico y funcional, también es la proporción de aire en las vías respiratorias. El espacio muerto funcional está formado por cambios en la proporción de aire que se encuentra en los alvéolos debido a trastornos de vascularización, o sea que, en circunstancias convencionales el espacio muerto fisiológico, podría ser similar al espacio muerto anatómico: 0 ml. Sin embargo, existen procesos en que este valor se altera; una vez el valor normal del espacio muerto es de 150 ml por cada 500 ml de aire contenidos en el pulmón (10).

Espacio muerto anatómico (EMA)

El EMA, es una zona nombrada así, porque no hay intercambio de gases en ella. El valor es aproximadamente de 2 mL/kg. En cualquier caso, parte del volumen inspiratorio ocupa esta zona, por lo que se puede confirmar efectivamente que el volumen tidal transmitido al sistema respiratorio en cada inhalación, se divide en ventilación de espa-

cio muerto (VD) y ventilación alveolar efectiva (VAE) (11). La suma de los dos constituye el volumen tidal (VT) como se expresa en la fórmula:

VT: Volumen Tidal

$$VT = VD + VAE$$

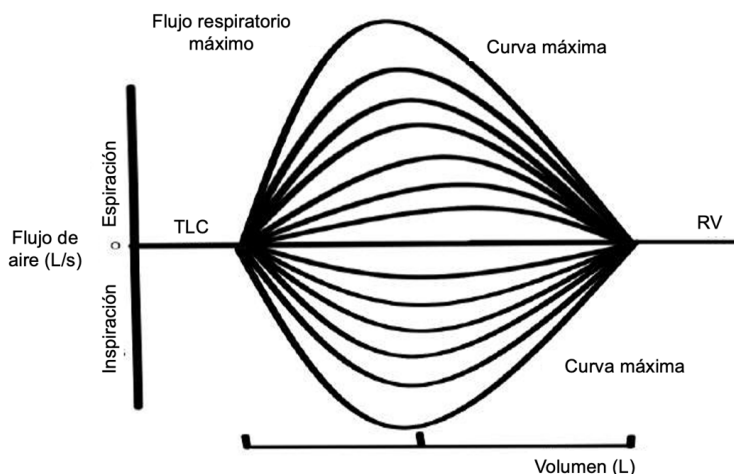
Curvas Flujo volumen

Las mediciones del flujo de aire y el volumen pulmonar poseen el potencial de distinguir las enfermedades pulmonares obstructivas y restrictivas, describir la gravedad y medir la respuesta al procedimiento.

Es característico utilizar datos de una gran población con función pulmonar normal para informar los valores medidos como flujo absoluto y volumen, así como porcentajes de los valores esperados.

Las variables utilizadas para presagiar dichos valores habituales son la edad, el sexo, la raza y la talla (11). La figura 28 representa la curva flujo volumen.

Figura 28. Curva Flujo Volumen.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Luego de compilar la información obtenida y redactarla se puede llegar a la conclusión de que la temática de mecánica respiratoria es de utilidad, para los profesionales de la salud.

Como resultado de esta investigación se puede evidenciar y comprender que la función pulmonar trabajará en conjunto mediante varias estructuras para mantener una proporción V/Q (ventilación/perfusión) adecuada. También causan cambios en la función pulmonar, lo que puede provocar una hipoxemia y daño tisular causado por la hipoxia.

Cuando existen patologías como el asma o la EPOC, entre la capacidad pulmonar y el volumen existen algunas variaciones, que pueden traer diferentes complicaciones a los individuos que padecen de estas patologías. La función principal del surfactante es evitar la adhesión de la pared alveolar, manteniendo así un buen intercambio de gases. Así mismo, se evidenció que existen cuatro capacidades pulmonares como la capacidad inspiratoria (CI), capacidad vital (CV), capacidad residual funcional (CRF) y la capacidad pulmonar total (CPT). Por otra parte, también existen cuatro volúmenes pulmonares como son el volumen de reserva inspiratorio (VRI), volumen corriente (VC), volumen de reserva espiratorio (VRE) y el volumen residual (VR), cuya importancia es darnos a saber cuántos mililitros se pueden almacenar tanto en la inhalación como en la espiración.

Referencias bibliográficas

1. Rosas EA, Ayala GG. Fisiología cardiovascular, renal y respiratoria. Editorial Manual Moderno; 2014. [cited 15 May 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=IPIWCQAAQBA-J&oi=fnd&pg=PT33&dq=fisiologia+respiratoria&ots=ml-3qIQcrw&sig=7nhNI4uskUBvwsfoEBPfl3K-UvA#v=onepage&q&f=false>

2. Romero P. Distensibilidad pulmonar. Capítulo 10. 2004. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Romero/publication/310707779_DISTENSIBILIDAD_PULMONAR/links/58357d0608aef19cb82344e7/DISTENSIBILIDAD-PULMONAR.pdf
3. Read J. Pulmonary ventilation and perfusion in normal subjects and in patients with emphysema. Clin Sci. 1959;18:465–73. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14436705/>
4. Kamenskaya OVK, Klinkova ASK, Cherniavsky AMC, Cherniavsky MAC, Edemskiy AGE, Karaskov AMK, et al. Efficiency of pulmonary ventilation in remote period after surgery in patients with hronic pulmonary thromboembolism. Kardiologiia. 2015;9_2015:16–21. DOI: 10.18565/cardio.2015.9.16-21. Disponible en: <https://doi.org/10.18565/cardio.2015.9.16-21>
5. Publicacionesdidacticas.com [En ligne]. Análisis de la Mecánica Respiratoria dentro del Proceso de Ventilación Pulmonar [cité le 1 April 2022]. Disponible: <https://publicacionesdidacticas.com/hemeroteca/articulo/088023/articulo-pdf>
6. Christancho W. Fisiología respiratoria. Lo esencial en la práctica clínica. Editorial Manual Moderno. 2012. Disponible en: https://www.academia.edu/42097888/Fisiologia_Respiratoria
7. West JB. Fisiología respiratoria. 7a Ed. Sao Paulo, Brasil: Editorial Panamericana; 2003.
8. Guyton AC. Tratado de fisiología médica. Ed. Jackson Mississippi: Elsevier; 2006. p. 471 – 472.
9. Dvorkin MA, Cardinali DP, Lermoni RH. Bases fisiológicas de la práctica médica. 2009;14:133–6. p. 133 – 136.
10. Lumb AB. Nunn's Applied Respiratory Physiology. 7a Ed. United States: Churchill Livingstone. 2010; pp. 31 – 36.
11. Tobin MJ. Principles & Practice of mechanical ventilation. United States: McGraw - Hill; 2006. p. 37 – 38.



SECCIÓN 2

Técnicas de **Fisioterapia respiratoria**

Section 2. Respiratory physiotherapy techniques



Capítulo 4

Técnicas de desobstrucción bronquial

Bronchial unblocking techniques

Valentina Sánchez Ospina

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-2506-8151>

✉ valentina.sanchez00@usc.edu.co

Nathali Carvajal Tello

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-5930-7934>

✉ nathali.carvajal00@usc.edu.co

Kelly Johana Guzmán Ruiz

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-4407-3263>

✉ kelly.guzman00@usc.edu.co

Resumen

Introducción: Las técnicas de desobstrucción tienen como objetivo principal despejar las vías aéreas obstruidas por secreciones. En este capítulo se realiza la respectiva descripción de las técnicas de fisioterapia respiratoria, que corresponden a las escuelas Anglosajona y Europea; luego se procede a describir la evidencia científica de estas técnicas. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica de artículos relacionados con las técnicas de desobstrucción bronquial. Los artículos fueron de tipo descriptivos, revisiones sistemáticas, experimentales y cuasi experimentales; se realizó la búsqueda en bases de datos como ScienceDirect, Elsevier, Pedro, PubMed, Scielo,

Cita este capítulo / Cite this chapter

Sánchez Ospina V, Guzmán Ruiz KJ, Carvajal Tello N. Técnicas de desobstrucción bronquial. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 107-155.

Google Academic, entre los años 2011-2021. **Resultados:** Después de haber realizado la búsqueda, se tienen en cuenta un total de quince artículos donde se evidencia la efectividad de las técnicas en las diferentes patologías que comprometen las vías aéreas, y se excluyen los artículos que no muestran resultados significativos en los pacientes con las vías aéreas obstruidas. **Conclusión:** Se dedujo que las técnicas de la Escuela Anglosajona, se dejaron de aplicar hace unos años por complicaciones en los pacientes y falta de evidencia científica. Por otro lado, se encontró que las técnicas de la Escuela Europea, tuvieron mejores resultados con respecto a la efectividad de las mismas. Sin embargo, se sugiere se continúe realizando investigación que fortalezca la evidencia científica en las técnicas de fisioterapia de desobstrucción bronquial.

Palabras clave: fisioterapia respiratoria, técnicas, obstrucción, vías aéreas, permeabilidad, intratorácica, EPOC, asma, fibrosis quística, enfermedades neuromusculares.

Abstract

Introduction: The main objective of the unobstruction techniques is to clear the airways obstructed by secretions. In this chapter the respective description of the respiratory physiotherapy techniques, which correspond to the Anglo-Saxon and European Schools, is made, then we proceed to the scientific evidence of these techniques. **Materials and methods:** A bibliographic review of articles related to bronchial clearance techniques was carried out. The articles were descriptive, systematic reviews, experimental and quasi-experimental, the search was performed in databases such as ScienceDirect, Elsevier, Pedro, PubMed, Scielo, Google Academic, between the years 2011-2021. **Results:** After having performed the search, 15 articles where the effectiveness of the techniques in the different pathologies that compromise the airways are taken into account, and the articles that do not show significant results in patients with obstructed airways

are excluded. **Conclusion:** It was deduced that the techniques of the Anglo-Saxon School were discontinued a few years ago due to complications in patients and lack of scientific evidence. On the other hand, it was found that the techniques of the European School had better results with respect to their effectiveness. However, it is suggested to continue research to strengthen the scientific evidence on bronchial clearance physiotherapy techniques.

Key words: respiratory physiotherapy, techniques, obstruction, airways, patency, intrathoracic, COPD, asthma, cystic fibrosis, neuromuscular diseases.

Introducción

En el siguiente capítulo se llevará a cabo la descripción de las técnicas de desobstrucción bronquial, teniendo en cuenta el origen de las mismas, incluyendo su objetivo de aplicación, el modo de empleo con sus comandos verbales y contactos manuales; se mencionan las indicaciones y contraindicaciones correspondientes a cada una de ellas.

En primer lugar, se mencionan las técnicas de la Escuela Anglosajona, conocidas como las técnicas convencionales, las cuales eran aplicadas por efecto de la gravedad, como drenaje postural (DP) o por ondas de choque como percusión y vibración. En algunas ocasiones era posible combinar ambas técnicas para lograr mejores resultados en los pacientes.

Para continuar, se describen los procedimientos de la Escuela Europea, los cuales están basados en el flujo espiratorio. Estos se dividen en las variaciones de flujo aéreo inferior/intratorácica; dentro de estos se encuentran los procedimientos basados en la espiración lenta como aumento de flujo espiratorio lento (AFEL), drenaje autógeno (DA), drenaje autógeno asistido (DAA), espiración lenta total con glotis abierta en infralateral (ETGOL) y espiración lenta prolongada (ELpr).

Por otro lado, se encuentran los procedimientos basados en la espiración forzada como la tos, la cual se divide en dirigida, asistida y provocada, también está el aumento de flujo espiratorio rápido (AFER). Por último, se describen los procedimientos de permeabilización de vía aérea superior/extratorácica, los cuales se dividen en procedimientos que están basados en el flujo inspiratorio como desobstrucción rinofaríngea retrógrada (DRR), desobstrucción rinofaríngea retrógrada con instilación (DRR + I) y glosopulsión retrógrada (GPR). También, los procedimientos que están basados en el flujo espiratorio como el bombeo traqueal espiratorio (BTE).

Al final de la descripción de las técnicas, se realiza una revisión bibliográfica de artículos científicos para evidenciar de manera global la efectividad de éstas, tanto de la Escuela Anglosajona como de la Europea.

Definición y descripción de técnicas:

Las técnicas de fisioterapia respiratoria surgen en las primeras décadas del siglo XX en Francia por Rosenthal, quien introdujo el concepto de “Kinésithérapie respiratoire”. A partir de ello, describió el “síndrome de insuficiencia diafragmática”, en pacientes que presentaban problemas respiratorios; desde ese momento, la recuperación a nivel respiratorio forma parte de las afecciones médicas neumológicas (1).

En la década de los años treinta, aparece el fisioterapeuta Miss Lynthon del Hospital Brompton, quien observó que los pacientes postquirúrgicos que fueron sometidos a fisioterapia respiratoria tenían menos complicaciones respiratorias, con respecto a los que no recibieron el tratamiento; desde ahí, la fisioterapia respiratoria obtuvo un lugar importante a nivel mundial (1).

Las técnicas de la permeabilización de la vía aérea son un grupo de procedimientos más aplicados dentro de la fisioterapia respiratoria. Estas técnicas se utilizan desde los años cincuenta, cuando apareció la epidemia de poliomielitis, dichas técnicas se convirtieron en uno

de los pilares terapéuticos, con el objetivo de favorecer la eliminación de secreciones bronquiales y evitar el deterioro funcional de pacientes hipersecretivos (2).

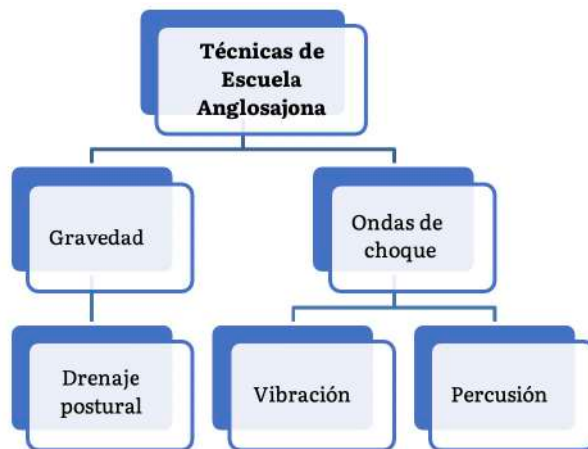
Luego aparece la primera conferencia de consenso sobre fisioterapia respiratoria, que se realizó en Lyon, Francia en el año 1994. Se reunieron expertos en el área de la fisioterapia de tórax, quienes definen obstrucción bronquial como la permanencia de secreciones en el interior de las vías aéreas en calidad y/o cantidad anormal o patológica.

A continuación, se presenta la clasificación de las técnicas de fisioterapia de tórax. En primer lugar, las técnicas de la Escuela Anglosajona; las cuales se pueden aplicar por efecto de la gravedad o por ondas de choque. Por otro lado, las técnicas de la Escuela Europea, que están basadas en el flujo espiratorio.

Técnicas de la Escuela Anglosajona

En la figura 29 se muestra la clasificación de las técnicas de la Escuela Anglosajona:

Figura 29. Técnicas de la Escuela Anglosajona.



Fuente: Elaboración propia.

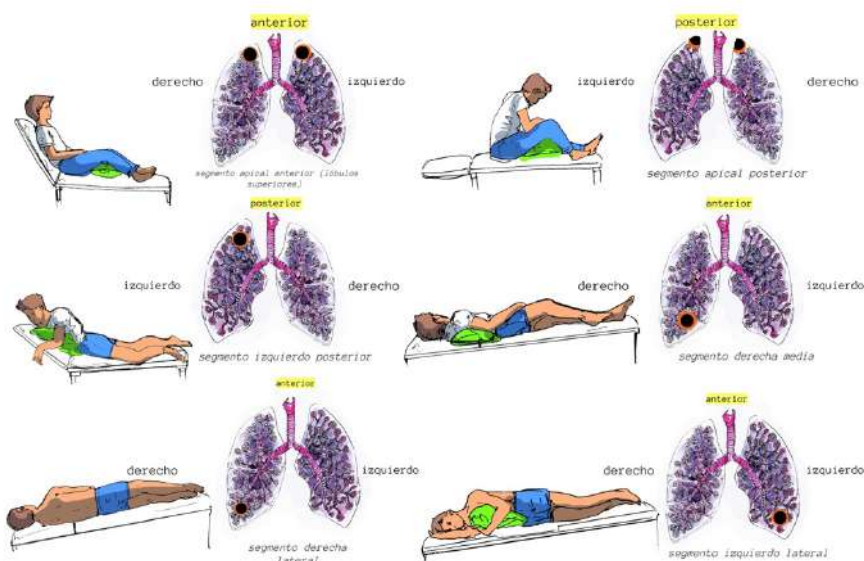
El origen de la fisioterapia respiratoria se desarrolló en la Escuela Anglosajona del Hospital de Brompton de Londres. Su principio terapéutico se basa en la utilización del drenaje postural, vibración exógena y la percusión como método de desobstrucción bronquial (2).

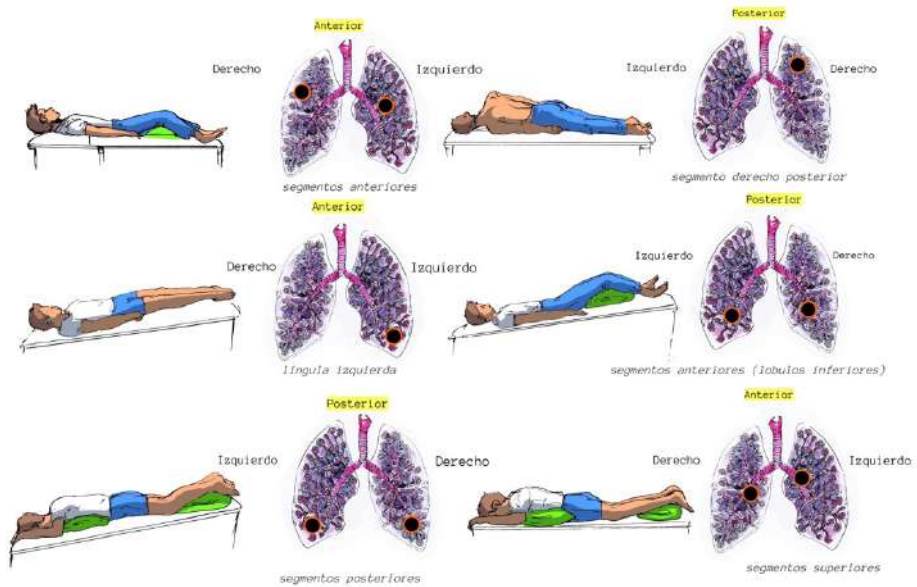
Técnicas por efecto de la gravedad

Drenaje Postural (DP)

El drenaje postural es una técnica que está incluida dentro del grupo de procedimientos que tienen como fin la permeabilización de la vía aérea. Esta técnica consiste en adoptar posiciones basadas en la anatomía del árbol bronquial, las cuales permiten facilitar el flujo de secreciones desde las ramificaciones segmentarias a las lobares, seguido de estas a los bronquios principales y finalmente a la tráquea para ser expulsadas al exterior. Todo este recorrido se da por acción de la gravedad (3). En la figura 30 se representan las posiciones del DP.

Figura 30. Posiciones del Drenaje Postural (DP)





Fuente: Elaboración propia.

Entre las posturas que se utilizan en la técnica de drenaje postural, se encuentran: decúbito supino, pronado, y lateral, en posición sedente y con inclinación. Todas estas posturas son utilizadas para la limpieza de las vías aéreas.

El drenaje postural (DP) se debe realizar cada cuatro a seis horas, entre 15 y 60 minutos dependiendo de la tolerancia del paciente; por lo tanto, se pueden utilizar de una a tres posiciones, cada una por 15 minutos. Además de ello, este método puede ir acompañado de técnicas como la percusión, vibración, compresión y tos inducida para lograr mejores resultados (3).

Indicaciones

El drenaje postural es una técnica que no conlleva ningún tipo de riesgo a nivel respiratorio. Por lo tanto, es recomendable que antes de iniciar este procedimiento se deba investigar la posibilidad de una inestabilidad atlantoaxoidea.

Esta técnica se puede utilizar en aquellas patologías que afectan los pulmones, algunas de estas son: fibrosis quística, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), bronquiectasias, absceso pulmonar y, por último, en secreciones espesas de difícil eliminación.

Contraindicaciones

Es importante tener en cuenta las enfermedades que ha presentado el paciente antes de proceder con la técnica, debido a que existen situaciones en las que no se debe someter a la persona a cambios posturales, como, por ejemplo, cuando presentan reflujo gastroesofágico, y sobre todo en aquellas personas que han tenido lesiones a nivel craneal.

Así mismo, para realizar este método se deben tener ciertas precauciones en patologías como: hipertensión endocraneana, cirugías abdominales, dolor y cardiopatías. Por otro lado, están las contraindicaciones absolutas como: inestabilidad hemodinámica, disnea, abdomen abierto y trauma de tórax (4).

Técnicas por ondas de choque

Estas técnicas tienen como objetivo limpiar las vías aéreas y facilitar el aclaramiento mucociliar; para ello es necesario transmitir una onda de energía a la vía aérea para llevar a cabo la modificación de las propiedades de las secreciones.

Dentro de las técnicas aplicadas por ondas de choque se encuentran las que se describen a continuación.

Vibración

La técnica de vibración es aquella en la que se emplean movimientos oscilatorios sobre la pared torácica en el momento de la espiración para aumentar la velocidad del aire.

Es importante reconocer que la capacidad manual al vibrar es de alrededor de 1 a 8 Hz pero se recomienda que la frecuencia oscile entre los 12 y 15 Hz, para que modifique la viscosidad de las secreciones y el paciente logre expulsarlas con mayor facilidad, y así, finalmente favorecer la función respiratoria.

Este rango de oscilación en Hz deseado se podría lograr si se utilizan dispositivos como vibradores manuales o chalecos vibratorios. Esta técnica se emplea colocando las manos o punta de los dedos sobre la pared torácica sin despegarlas, se genera una vibración durante la espiración, en algunas ocasiones se combina con la compresión y el drenaje postural (5).

A continuación, en la figura 31 se muestra la técnica de vibraciones torácicas.

Figura 31. Vibraciones torácicas.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: (Todas las imágenes adulto y pediátrico incluidas en el libro cuentan con autorización por parte del usuario o cuidador)

Indicaciones

La técnica de vibración tiene como objetivo el desprendimiento de las secreciones; se puede realizar junto al drenaje postural para ayudar a despegar esas secreciones en patologías como EPOC, infecciones respiratorias, alteraciones en el desarrollo de los cilios presentes en vías respiratorias, neumonía y fibrosis pulmonar.

Contraindicaciones

No es recomendable aplicar la técnica de vibración en condiciones como fracturas costales o tórax inestable, tampoco, es posible realizarla en pacientes menores de tres años de edad, en pacientes con metástasis ósea en vértebras y costillas, en enfisema, broncoespasmo grave, traumatismos o que haya sido intervenido recientemente en el tórax o alteraciones en la coagulación (6).

Percusión

En la técnica de percusión se ubica al paciente en posición decúbito lateral, con el lado afectado en la parte superior y apoyado sobre el lado sano.

Se deben dar palmadas sobre el tórax de forma rítmica, colocando la palma de las manos en forma hueca y los dedos flexionados con el pulgar pegado al índice, con el objetivo de ayudar mecánicamente al paciente a expulsar esas secreciones que están espesas y adheridas a las paredes bronquiales.

Se debe percutir suavemente sobre la pared torácica. Al igual que con la técnica de vibración, se recomienda que la percusión alcance mínimo 12 Hz para lograr los efectos deseados. En cada segmento se realiza la percusión de 3 a 4 minutos, y se irá aumentando la velocidad y la presión gradualmente. En la figura 32 se muestra la posición de la mano para realizar la técnica de percusión.

Figura 32. Posición de la mano para la percusión.



Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta los siguientes cuidados antes de realizar este tipo de técnicas. Primero, se debe revisar la historia clínica para determinar los segmentos que están afectados, aparte de ello, se observa la tolerancia del paciente durante el tratamiento. Por último, se debe examinar el color de la piel después de la intervención en caso que la percusión haya sido fuerte.

En la figura 33, se muestran las posiciones que debe adoptar el paciente para aplicar las técnicas vibración y percusión.

Figura 33. Posiciones para aplicar la vibración y percusión.

Posición 1. Lóbulos superiores segmentos apicales



Posición 2: Segmentos posteriores



Posición 3: Segmentos anteriores



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

La técnica de percusión tiene como objetivo desalojar mecánicamente las secreciones espesas adheridas a las paredes bronquiales. Esta técnica, al igual que la vibración, se puede realizar junto al drenaje postural para ayudar a movilizar las secreciones en diversas patologías como EPOC, infecciones respiratorias, afectaciones en la movilidad de los cilios de los bronquiolos, neumonía y fibrosis pulmonar.

Contraindicaciones

La técnica de percusión no se debe realizar sobre la columna vertebral, tampoco debajo de la reja costal, ni en la zona renal. Está contraindicada en condiciones como neumotórax y derrame pleural no tratadas, casos de tuberculosis en fase activa, embolia, absceso en los

pulmones, presencia de dolor reciente en el tórax, ACV, prótesis de silicona en mamas, enfermedades cardiovasculares, o sobre alguna articulación (7).

Evidencia científica

A continuación, se describe la evidencia científica de las técnicas de la Escuela Anglosajona, las cuales eran reconocidas como aquellas que producían irritabilidad y mayores complicaciones.

En un ensayo clínico controlado se evaluó el papel que juega la fisioterapia respiratoria en pacientes pediátricos con neumonía; en dicho ensayo se asignó el tratamiento con técnicas de fisioterapia convencional a 55 pacientes, en los cuales no se demostraron beneficios en términos de la reducción de signos, síntomas y alteraciones radiográficas. Finalmente se afirmó que el tratamiento con técnicas convencionales podía resultar perjudicial en aquellos pacientes que no fueran hipersecretores. En el mismo artículo, se demuestra que la fisioterapia respiratoria en pacientes adultos con neumonía no tuvo resultados positivos con respecto a la reducción de signos y síntomas, menor tiempo de hospitalización, y disminución de letalidad; mientras que, en los casos de neumonía no complicada adquirida en la comunidad, se demostró un buen perfil de seguridad con bajo riesgo de eventos adversos (8).

En otro estudio, se realizó una revisión sistemática donde se tuvieron en cuenta 140 artículos de diferentes bases de datos; de esos se filtraron teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión establecidos, luego fueron seleccionados con respecto al título y un resumen válido metodológicamente en la Escala de Pedro 5/10, donde finalmente quedaron 10 artículos.

En uno de los artículos seleccionados, se tenían 1208 lactantes menores de dos años diagnosticados con bronquiolitis aguda, estos pacientes fueron asignados aleatoriamente en dos grupos; el primer grupo estaba compuesto de 246 lactantes, los cuales fueron intervenidos con técnicas como AFE Y TA.

El segundo grupo contaba con 250 lactantes y estos fueron intervenidos por medio de nebulizaciones con suero y succión nasal. Al final de esta intervención se evidencia que no se obtuvieron efectos positivos en la recuperación.

No obstante, se realiza otro tipo de intervención, donde se asignan 29 pacientes menores de dos años, y se dividen en dos grupos. El primer grupo es sometido al drenaje postural, tapping y aspiración traqueal; mientras que el segundo grupo es sometido de igual manera con drenaje postural y aspiración traqueal, pero es combinado con AFE.

En comparación a la primera intervención, se evidenció una mejoría relacionada con la dificultad respiratoria gracias a las técnicas que se efectuaron en los lactantes de estos grupos. En este estudio también se concluye que las técnicas como vibración y percusión no obtuvieron resultados positivos relacionados con recuperación de los pacientes y la reducción del tiempo de hospitalización (9).

Técnicas de la Escuela Europea

A continuación, en la tabla 7, se presenta la clasificación de los procedimientos de la Escuela Europea; los cuales están basados en el flujo espiratorio. Se dividen en variaciones de flujo en la vía aérea inferior/intratorácica y los procedimientos de permeabilización de la vía aérea superior/extratorácica.

Tabla 7. Procedimientos de la Escuela Europea.

CLASIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PERMEABILIZACIÓN DE LA VÍA AÉREA		
VARIACIONES DE FLUJO EN LA VÍA AÉREA INFERIOR / INTRATORÁCICA O SUPERIOR / EXTRATORÁCICA.	1. Basados en la espiración lenta.	• Aumento de flujo espiratorio lento (AFEL) • Drenaje utógeno (DA) • Drenaje autógeno asistido (DAA) • Espiración lenta total con glotis abierta en infralateral (ETGOL) • Espiración lenta prolongada (ELpr)
	2. Basados en la espiración forzada.	• Tos • Dirigida (TD). • Asistida (TA). • Provocada (TP). • Aumento de flujo espiratorio rápido (AFER) • Técnica de espiración forzada (TEF) • Técnicas instrumentales (Se describen en el capítulo 6 Técnicas Instrumentales):
		- Oscilación oral de alta frecuencia (OOAF). - Flutter. - Shaker. - Acapella. - Chaleco vibrador. - Presión positiva espiratoria aero (PEEP).
PROCEDIMIENTOS DE PERMEABILIZACIÓN DE VÍA AÉREA SUPERIOR / EXTRATORÁCICA.	Basados en el flujo inspiratorio.	• Desobstrucción rinofaríngea retrógrada (DRR) • Desobstrucción rinofaríngea retrógrada con instilación (DRR + I) • Glosopulsion retrógrada (GPR)
	Basados en el flujo espiratorio.	• Bombeo traqueal espiratorio (BTE)

Fuente: Elaboración propia.

Variaciones del flujo en la vía aérea inferior/intratorácica – Procedimientos basados en la espiración lenta.

A continuación, se describen los procedimientos basados en la espiración lenta, dentro de estos se encuentran: aumento de flujo espiratorio lento (AFEL), drenaje autógeno (DA) y drenaje autógeno asistido (DAA), espiración lenta total con glotis abierta en infralateral (ET-GOL) y espiración lenta prolongada (ELpr).

Aumento de Flujo Espiratorio Lento (AFEL)

Es una técnica muy utilizada tanto en pacientes adultos como en pediátricos, tiene como objetivo conservar la elasticidad bronquial, lo cual permite la desobstrucción y movilización de las secreciones localizadas en las vías aéreas distales. El AFEL se puede realizar de forma pasiva cuando el paciente no puede colaborar sea por su edad o por el estado neurológico y de forma activa cuando el paciente puede colaborar.

Cuando el AFEL se realiza de forma activa, consiste en solicitar al paciente que realice una espiración lenta y progresiva con la glotis abierta y labios relajados después de una inspiración a bajo volumen. Cuando el AFEL se realiza de forma pasiva el fisioterapeuta es quien ejecuta todo el movimiento en la caja torácica, en sincronía con el patrón respiratorio.

Los contactos manuales del fisioterapeuta se deben ubicar de la siguiente manera: Las manos sobre la parte inferior del tórax para movilizar secreciones de las bases del pulmón y en la parte superior para movilizar secreciones adheridas en los ápices; luego se procede a realizar una compresión lenta en sentido cefálico en el momento de la espiración.

Cuando se realiza de forma activa, se solicita al paciente que debe llegar hasta el volumen residual, y al botar el aire debe ser a bajo flu-

jo y a glotis abierta. En las figuras 34 y 35 se muestran los contactos manuales correspondientes al realizar la técnica en paciente adulto y pediátrico (9).

Figura 34. AFEL en Adulto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Pediátrico.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

La técnica de aumento de flujo espiratorio lento está indicada para aquellos pacientes que tienen secreciones en las vías aéreas medias y distales.

Contraindicaciones

Esta técnica no es posible realizarla en pacientes que presentan: quemaduras, fracturas recientes, broncoespasmo, hemoptisis o una cirugía de tórax o abdomen reciente (10).

Drenaje Autógeno (DA)

Es un método de respiración controlada, donde el paciente debe ajustar la frecuencia, localización y la profundidad de la misma. Es una técnica activa que utiliza inspiraciones y espiraciones lentas controladas, donde el paciente debe ser capaz de colaborar.

La técnica se desarrolla en tres fases que son despegar, recoger y eliminar. Se inicia por un volumen de reserva espiratorio (VRE) para movilizar las secreciones distales y se va progresando hacia el volumen de reserva inspiratorio (VRI) para la posible evacuación proximal.

El objetivo de esta técnica es maximizar la velocidad del flujo espiratorio en las diferentes generaciones bronquiales, manteniendo resistencias bajas, y así mismo, previniendo la compresión dinámica de las vías aéreas (11).

Los contactos manuales que se deben tener en cuenta para indicar al paciente al momento de ejecutar la técnica son: colocar una de sus manos sobre el tórax y la otra en el abdomen (Figura 36).

Figura 36. D.A.



Fuente: Elaboración propia.

El Drenaje Autógeno se realiza por medio de 3 fases:

1° Fase Despegar: Se inicia con una respiración a bajo volumen, en la cual se va desplazando a nivel del VRE, con el objetivo de desprender las secreciones distales. Se deben realizar de tres a cinco respiraciones a pequeño volumen incluyendo pausas de dos a tres segundos al final de cada inspiración. Los comandos verbales que se darán al paciente son: toma un poco de aire, sostiene y bota.

2° Fase Recoger: Aquí se acumulan las secreciones que han sido movilizadas. Durante esta fase, la respiración es controlada y comienza en el VRE, el cual va progresando de manera secuencial a un VRI, finalmente movilizandovolumenes medios.

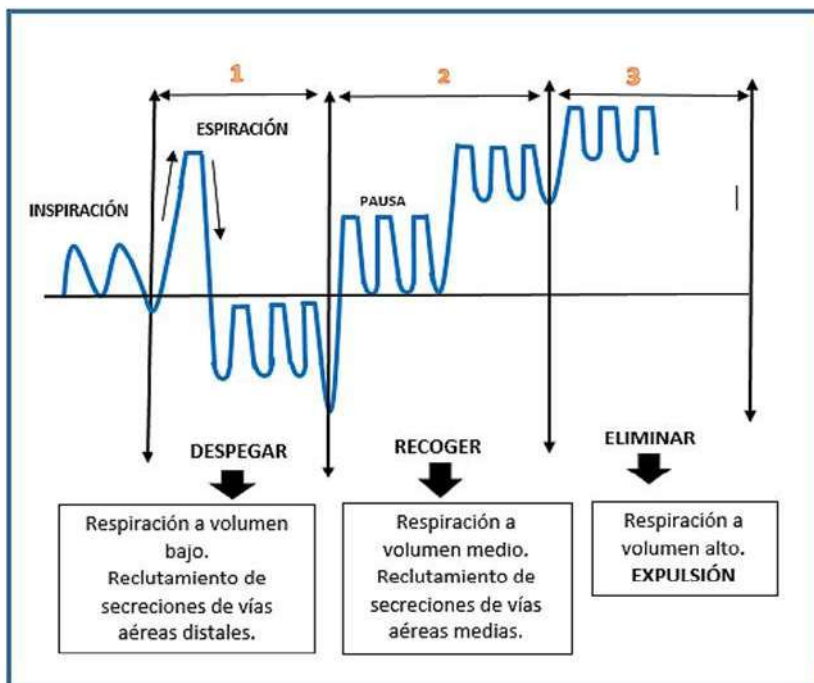
De igual manera, se deben realizar de tres a cinco respiraciones a volumen pulmonar medio, incluyendo pausas de dos a tres segundos al final de cada inspiración. Los comandos verbales que se darán al paciente son: toma aire hasta la mitad, sostiene y bota.

3° Fase Eliminar: Se conoce como la fase de evacuación, donde se inicia con inspiraciones a VRI y finaliza con tos o técnica de espiración forzada (TEF). En esta fase, los flujos espiratorios son de mayor velocidad, con el fin de eliminar las secreciones desde las vías más centrales.

Al igual que en las fases anteriores, se deben realizar de tres a cinco respiraciones a un alto volumen pulmonar incluyendo pausas de dos a tres segundos al final de cada inspiración. Los comandos verbales que se dan al paciente son: toma aire profundo, sostiene y bota (12).

En la figura 37 se muestran las fases del DA.

Figura 37. Fases del Drenaje Autógeno.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

El drenaje autógeno (DA) está indicado para pacientes con patologías aguda/crónica que tienen dificultad para eliminar las secreciones y requieren aumentar la depuración mucociliar, el flujo aéreo y la ventilación pulmonar. Entre las patologías se encuentran, la fibrosis quística, bronquiectasias e hipersecreción.

Contraindicaciones

El drenaje autógeno (DA) no está permitido realizarlo en pacientes que cursan con episodios de hemoptisis grave o en una inestabilidad hemodinámica (10).

Drenaje Autógeno Asistido (DAA)

El drenaje autógeno asistido (DAA) es una adaptación del DA para lactantes (figura 38) y niños pequeños (figura 34) incapaces de realizarlo de manera autónoma. Antes de iniciar esta técnica se debe posicionar al paciente en decúbito supino con la cabeza ligeramente elevada sobre el plano de apoyo, luego se ubican ambas manos rodeando la caja torácica, se genera una leve presión bimanual en la fase espiratoria sobre ambos hemitórax.

Debe asegurarse que el paciente realice dos a tres respiraciones controladas, cerca al nivel residual, con el fin que el flujo espiratorio logre desplazar las secreciones que se encuentran a nivel distal hacia las vías aéreas centrales, y finalmente se disminuya progresivamente la compresión espiratoria, permitiendo que el niño realice unas ventilaciones a volúmenes pulmonares más altos (11).

Figura 38. DAA en lactantes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. DAA en niños pequeños.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

El drenaje autógeno asistido DAA está indicado en pacientes con enfermedades respiratorias crónicas con hipersecreción, como fibrosis quística (FQ), bronquiectasias y bronquiolitis obliterante post-infecciosa (BOPI). La técnica de DAA presenta una limitación en pacientes que no tengan la capacidad de cooperar, y en casos donde no haya disposición ni compromiso por parte de la familia. También se recomienda tener precaución en pacientes con hiperreactividad bronquial.

Contraindicaciones

El DAA no se debe realizar en pacientes con hemoptisis e inestabilidad hemodinámica.

Espiración Lenta Total con Glotis Abierta e Infralateral (ELTGOL)

Es un procedimiento en el cual se combinan volúmenes bajos, flujos lentos y el posicionamiento. Se tiene presente que se debe auscultar al paciente antes de realizar esta técnica, con el fin de identificar y localizar las secreciones.

En esta técnica, se sitúa al paciente en posición decúbito lateral y con la cadera semiflexionada, con el objetivo de drenar el pulmón infralateral. Al mismo tiempo, se realizan inspiraciones a bajo volumen con espiraciones lentas y prolongadas con glotis abierta hasta alcanzar el volumen residual (VR).

El fisioterapeuta asiste la técnica a través de los contactos manuales, los cuales se deben ubicar de la siguiente manera: Una de las manos en los arcos costales supralaterales (4°-5° costillas) para dar apoyo, y el otro contacto con el antebrazo a nivel infraumbilical, para lograr un vaciado pulmonar completo.

Los comandos verbales que se le deben dar al paciente son tomar el aire y botarlo todo con la boca abierta, todo el tiempo, mientras que el fisioterapeuta aplica una ligera compresión hacia adentro y hacia arriba a nivel de la base del pulmón de apoyo (Figura 40).

Indicaciones

La técnica ETGOL está indicada en obstrucciones bronquiales medias, en pacientes colaboradores, en enfermedades respiratorias crónicas, mayores de diez años con obstrucciones bronquiales distales.

Contraindicaciones

Esta técnica no está permitida aplicarla en una descompensación cardiorrespiratoria. Por otro lado, hay que tener presente que la ejecución de la técnica obliga al paciente a un esfuerzo muscular importante (14).

Figura 40. ELTGOL.



Fuente: Elaboración propia.

Espiración Lenta Prolongada (ELPr)

Es una técnica pasiva realizada en pacientes lactantes y niños pequeños. Esta técnica tiene como objetivo promover la depuración de la vía aérea periférica. La aplicación de la ELPr disminuye de manera significativa los síntomas respiratorios de obstrucción bronquial, tales como sibilancias y retracciones, también disminuye la frecuencia respiratoria en los pacientes con bronquiolitis aguda.

Al momento de aplicar la técnica, se tienen en cuenta los siguientes contactos manuales: se apoya una mano sobre el tórax del paciente formando una C con el borde ulnar, y la otra mano se apoya de la misma manera sobre la zona abdominal. Antes de aplicar la técnica, el fisioterapeuta se debe sincronizar con el patrón respiratorio del paciente.

Luego, se ejerce una presión manual lenta al final de la espiración, en donde la mano ubicada en zona apical se moviliza hacia abajo y hacia el centro, y la mano ubicada en la zona abdominal se moviliza hacia adentro y hacia arriba de forma suave, oponiéndose a dos o tres respiraciones. Posteriormente, se suelta para permitir la inspiración (figura 41).

Figura 41. ELPr.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

Esta técnica está indicada para lactantes y niños pequeños, que presenten obstrucción de vía aérea media por acumulación de secreciones.

Contraindicaciones

Esta técnica no se debe realizar en condiciones como: **malformaciones cardíacas, atresia de esófago operada** enfermedades neurológicas centrales, síndromes abdominales no identificados, tumores abdominales ni en reflujo gastro esofágico.

Variaciones del flujo en la vía aérea superior/extratorácica - procedimientos basados en la espiración forzada.

Dentro de las técnicas basadas en la espiración forzada se encuentran las que se divide en tres tipos: tos dirigida, asistida y provocada; la técnica de aumento de flujo espiratorio rápido y por último las técnicas instrumentales, que están descritas en el capítulo 6.

Tos

En primer lugar, la tos se describe como una espiración forzada que actúa como un mecanismo de defensa mecánica del árbol traqueo bronquial; esta tiene dos funciones básicas como mantener las vías respiratorias libres de elementos extraños, y expulsar secreciones producidas excesivamente por condiciones patológicas (16).

Dentro de las técnicas de espiración forzada, se encuentran tres tipos de tos: dirigida, asistida y provocada. A continuación, se describe cada una de ellas:

Tos Dirigida (TD)

Es una técnica voluntaria que se realiza en usuarios capaces de cooperar de manera independiente. La tos dirigida tiene como finali-

dad eliminar las secreciones que se encuentran en vías respiratorias proximales de gran calibre. El comando verbal que se le da al paciente es que debe toser a diferentes volúmenes pulmonares: bajo, medio y alto. Por ejemplo, toma un poco de aire, tose con fuerza, toma aire hasta la mitad y tose con fuerza, por último, toma todo el aire que pueda y tose con fuerza (figura 42).

Figura 42. Tos dirigida.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

La tos dirigida es indicada en pacientes colaboradores que su patología pulmonar cursa con hipersecreción, cuando las secreciones bronquiales son proximales, y en presencia de ruidos de baja frecuencia escuchados en la boca.

Contraindicaciones

Esta técnica no está permitida para contusiones torácicas en caso de un neumotórax no drenado, en fracturas costales, traumatismos intracraneales, tampoco en casos de sutura craneal, hernias parietal, abdominal o hiatal, ni en pacientes intubados o con cánula de traqueostomía (17).

Tos Asistida (TA)

En esta técnica se realizan unos ejercicios respiratorios para provocar el estímulo de la tos, con el objetivo de movilizar y eliminar las secreciones que se producen en las vías respiratorias.

Para realizar la técnica se debe, en primer lugar, informar del procedimiento a seguir, luego se solicita la colaboración del paciente y la familia.

Debe colocarse al paciente en posición sedente con una ligera inclinación de la cabeza hacia adelante, los hombros deben estar rígidos hacia adentro y los brazos relajados sobre una almohada en el abdomen; Esto se realiza si el estado del paciente lo permite.

Por otro lado, se le indica al paciente que tome aire profundo por la nariz, luego que bote el aire de manera forzada por la boca. Se repite tres veces el comando y al tercer intento debe toser.

Todo el proceso se debe repetir de tres a seis veces hasta conseguir la estimulación de la tos y con ello la expectoración.

La TA en el paciente pediátrico se observa en la figura 43 y en el paciente adulto en la figura 44.

Figura 43. Tos Asistida Pediatría.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Tos Asistida Adulto



Fuente: Elaboración propia.

Contraindicaciones

Esta técnica está contraindicada en patologías como neumotórax, traumatismos intracraneales, resección o sutura traqueal, antecedentes de una cirugía de estenosis post intubación y en casos de hernias importantes (parietal, abdominal o hiatal) (18).

Tos Provocada (TP)

La modalidad de la TP tiene como fin la expulsión de las secreciones de las vías aéreas proximales. Esta técnica se basa en el mecanismo de la tos refleja, la cual es inducida por la estimulación de receptores mecánicos, situados en la pared de la tráquea extratorácica.

La tos provocada es una maniobra que se realiza en aquellas personas que no pueden realizar la tos espontánea por sí mismas. Por ejemplo, en pacientes menores de tres años, o que presenten una condición neurológica que les impida desencadenar el mecanismo de la tos.

Para ejecutar la técnica, la persona debe estar en decúbito supino, la mano del fisioterapeuta debe estar con los cuatro dedos sobre el cuello, llevando la cabeza ligeramente hacia atrás en extensión para despejar la zona de tráquea, el pulgar de la mano contraria se ubica sobre la escotadura esternal generando una ligera presión hacia adentro y arriba, estimulando el reflejo de la tos (figura 45).

Figura 45. Tos provocada.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

La tos provocada está indicada para obstrucciones proximales en lactantes y niños pequeños (Cero a cuatro). También puede ser efectiva después de las técnicas lentas y forzadas. Adicionalmente, en el deterioro neurológico que impide un adecuado patrón de tos.

Por otro lado, también está indicada en patologías como fibrosis quística (sobreproducción de secreciones espesas y sin movimiento), asma y EPOC con atelectasias, en pacientes que no puedan desencadenar espontáneamente la tos.

Contraindicaciones

La tos provocada no está permitida realizar en neumotórax, traumatismo intracraneal, tampoco en una sutura traqueal, cirugías de estenosis post intubación, por último, en casos de hernias importantes (19).

Aumento del Flujo Espiratorio Rápido (AFER) en el adulto

El objetivo de esta técnica es el aumento de flujo espiratorio conservando la elasticidad bronquial, permitiendo la desobstrucción y así mejorar el drenaje de las vías aéreas proximales. Se puede realizar de forma activa o pasiva.

El paciente debe estar sobre una camilla en posición decúbito supino, lateral o semisentado. Se realizará una compresión donde la movilización es realizada por el fisioterapeuta, se ubican las manos sobre las bases pulmonares del tórax, realizando una compresión en sentido céfalo caudal.

El fisioterapeuta se debe sincronizar con el patrón respiratorio del paciente aumentando el flujo espiratorio hasta el volumen residual, esto con el objetivo de movilizar las secreciones traqueales y bronquiales que se encuentran en las vías aéreas proximales.

Luego se posicionan las manos en los ápices y se sincroniza con el patrón respiratorio. Al momento que el paciente bote el aire, se llevan las manos hacia abajo y hacia el centro, haciendo la movilización durante la fase espiratoria hasta el volumen residual (figura 46).

Figura 46. AFER adulto.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones: Esta técnica está indicada para pacientes que presentan hipersecreción bronquial en vías aéreas proximales.

Contraindicaciones: Tiene condiciones en las cuales no se puede aplicar definitivamente, y en otras situaciones en las que se puede aplicar, pero con precaución.

Dentro de las contraindicaciones relativas se encuentran los pacientes que cursen unas vías aéreas inestables y/o con presión de retracción elástica reducida, en obstrucción grave al flujo aéreo, debido a la alteración mecánica del sistema respiratorio, una debilidad muscular y/o que no sean capaces de inspirar un volumen de aire suficiente previamente al esfuerzo tusígeno, así como los que no puedan

aumentar el flujo espiratorio tras la contracción de la musculatura espiratoria.

En las contraindicaciones absolutas se encuentran pacientes que presenten un episodio de broncoespasmo o de hemoptisis, o con riesgo de sangrado (20).

Aumento del Flujo Espiratorio Rápido (AFER) pediátrico

Forma pasiva: La ubicación de las manos es la misma que la ELpr, colocando una mano con el borde ulnar sobre la escotadura esternal y la otra mano sobre el abdomen del paciente. Se sincroniza con el patrón respiratorio del paciente cuando toma el aire y cuando lo bota se prolonga la exhalación, realizando presión en el tórax con las manos.

La mano que se encuentra arriba hace una pequeña compresión hacia abajo y hacia adentro, mientras que la mano que está en la base del abdomen hace movimiento hacia adentro y hacia arriba, de forma sincrónica aumentando la fase espiratoria hasta el volumen residual (Figura 47).

Forma activa: Se ubican las manos sobre el paciente, una mano va sobre la zona esternal y la otra sobre el epigastrio en forma de C, se realizarán los comandos verbales solicitando la colaboración del paciente.

El paciente debe inhalar y exhalar mientras se realiza la maniobra y se va aumentando la velocidad del movimiento al mismo tiempo que los comandos verbales para así facilitar la expulsión de las secreciones (21).

Figura 47. AFER pediátrico.



Fuente: Elaboración propia.

Técnica de Espiración Forzada (TEF)

La TEF está orientada a favorecer la eliminación de las secreciones que se encuentran en vías aéreas medias y proximales. Esta técnica consiste en solicitar al paciente que realice una espiración forzada a glotis abierta, acompañada de la contracción de los músculos abdominales y torácicos.

Es posible que el fisioterapeuta pueda asistir la técnica de forma manual durante la ejecución de la misma a nivel costal anterolateral (bilateral), con el objetivo de aumentar el flujo espirado.

Según donde se encuentren ubicadas las secreciones, se pueden realizar dos tipos de TEF: Se inicia desde capacidad pulmonar total, va dirigido a las vías aéreas proximales, o se inicia desde capacidad residual funcional, éste se dirige hacia las vías aéreas distales (figura 48) (22).

Figura 48. TEF.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

La TEF está indicada para pacientes con secreciones bronquiales situadas en vías aéreas medias y proximales.

Contraindicaciones

Esta técnica tiene casos relativos en los que puede haber excepciones, tales como inestabilidad de las vías aéreas y/o con presión de retracción elástica reducida, obstrucción grave al flujo aéreo debido a una alteración mecánica del sistema respiratorio, por último, una debilidad muscular y/o que no sea capaces de inspirar el volumen suficiente a un esfuerzo tusígeno.

Las contraindicaciones absolutas corresponden a pacientes que cursan con crisis de broncoespasmo, episodios de hemoptisis o riesgo de un sangrado (22).

Procedimientos de permeabilización de vía aérea superior/extratorácica

A continuación, se describen los procedimientos de permeabilización de la vía aérea superior/extratorácica; dentro de estos se encuentran: desobstrucción rinofaríngea retrógrada (DRR) y (DRR-I), y gloso pulsión retrógrada (GPR) que están basados en el flujo inspiratorio; por otro lado, los procedimientos basados en el flujo espiratorio como el bombeo traqueal (BT).

Basados en el flujo inspiratorio

Desobstrucción Rinofaríngea Retrógrada (DRR) - Desobstrucción Rinofaríngea Retrógrada con instilación de solución salina (DRR-I)

Esta técnica está indicada para menores de tres años que presenten obstrucción de la vía aérea superior, se puede realizar con el uso de solución salina o sin ella. Con el niño en posición supina, en el momento que este haga un “resoplido” de forma pasiva por las vías aéreas nasales, con una ligera rotación en su cuello dejando el orificio nasal se le instalará suero fisiológico con ayuda de una jeringa. con ayuda de nuestro dedo pulgar cerraremos la boca del menor para generar un circuito cerrado con el fin de arrastrar las secreciones (figura 49).

Figura 49. DRR.



Fuente: Elaboración propia.

Cuando se realiza DRR-I, lo que se busca con esta técnica es lubricar para así facilitar la limpieza de secreciones acumuladas en las fosas nasales de la rinofaringe, logrando que pasen a la orofaringe para su expulsión. El procedimiento de la técnica es igual a la DRR sin instilación, solo que en este caso se utiliza la solución salina (Figura 44).

Figura 50. DRR + I.



Fuente: Elaboración propia.

Para dicho procedimiento será necesario tener solución salina y una jeringa; en casos pediátricos se sugiere instalar de uno a dos mililitros de solución salina. En caso de pacientes adultos se puede usar de cinco a diez mililitros de solución salina.

Indicaciones

Las técnicas DRR y DRR+I están indicadas en condiciones infecciosas de las vías respiratorias extratorácicas, por ejemplo, como la rinitis, sinusitis y faringitis.

Contraindicaciones

Estas técnicas están contraindicadas cuando no hay presencia de la tos refleja o eficiente, por ejemplo, en pacientes neuromusculares.

Tampoco cuando haya presencia de un estridor laríngeo, ni en pacientes que presenten una reacción de hipersensibilidad o broncoespasmo. Por último, se debe evitar el uso de algunos medicamentos porque pueden producir inflamación de la mucosa (23).

Glosopulsión Rinofaríngea Retrógrada (GPR)

Esta técnica es usada para eliminar y expectorar las secreciones que están en la cavidad oral. Los niños menores de tres años pueden presentar dificultad para expulsar las secreciones de la vía oral. Por lo tanto, es común que esta maniobra se combine con otras técnicas como la tos provocada o el bombeo traqueal espiratorio, que se describe más adelante.

Para llevar a cabo esta técnica se ubican los cuatro dedos exteriores y se apoya ligeramente sobre el cráneo y el pulgar bajo la mandíbula, para impedir la deglución. En la fase espiratoria se cierra el conducto orofaríngeo, aumentando la velocidad de aire espirado para que las secreciones que están acumuladas en la cavidad oral logren ser eliminadas, se gira la cabeza hacia un lado y se limpian las secreciones que salgan por la boca del niño (figura 51).

Figura 51. GPR.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

La técnica de GPR está indicada en condiciones agudas y crónicas, cuando tengan dificultad para expulsar el esputo. También puede ser utilizada en pacientes con bronquiectasias e hipersecreción dependiendo de la causa.

Contraindicaciones

Esta técnica no es permitida realizarla cuando presentan alteraciones de la ventilación y/o perfusión en decúbito infralateral. Tampoco en ocasiones que no sea capaz de mantener la postura en decúbito lateral, ni en episodios de hemoptisis e inestabilidad hemodinámica.

Basados en el flujo espiratorio. Bombeo Traqueal Espiratorio (BTE)

Es una técnica que se hace a pacientes menores de tres años, donde los anillos traqueales aún no se encuentran consolidados. Se debe ubicar

la escotadura esternal, los anillos de la tráquea se pueden movilizar y se pueda desplazar las secreciones que están a nivel de la vía aérea superior hacia la boca.

Se lleva la cabeza del paciente ligeramente en extensión y se ubica el dedo pulgar sobre la escotadura esternal y con los cuatro dedos se realiza un agarre posterior con ambas manos para lograr una mayor extensión del cuello, se ubica sobre la escotadura esternal una ligera presión sobre la tráquea con un deslizamiento hasta llegar a la última parte donde empieza la cavidad oral. Este deslizamiento va a permitir movilizaciones proximales de las secreciones hacia la vía aérea superior (figura 52).

Figura 52. BTE.



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

La técnica BTE está indicada en pacientes neuromusculares con hipersecreción de las vías aéreas, los cuales no tienen muy presente el

reflejo de la tos. También está indicada en pacientes menores de tres años, porque la posición de la laringe se encuentra más elevada (24).

Contraindicaciones

Esta técnica no está permitida en patologías locales de la tráquea extratorácica.

Evidencia científica

A continuación, se describe la evidencia científica de las técnicas de la Escuela Europea, basadas en la movilización del flujo espiratorio. En un estudio de caso que se realizó en un periodo de seis meses, se incluyeron 27 pacientes menores de 24 meses que cursaban episodios bronco-obstructivos; en dicho estudio, se llevaron a cabo dos procedimientos de higiene bronquial. En el primer procedimiento no se utilizó la técnica de AFE, mientras que en el segundo procedimiento si fue utilizado.

En ambos procedimientos se analizó el comportamiento del volumen espiratorio (VE), y se comprobó que en el segundo procedimiento se evidenció una mejoría del VE. Finalmente se concluye que se puede aplicar la técnica AFE en niños menores de 24 meses durante la ventilación mecánica, sin generar colapso bronquial (25).

Por otro lado, un artículo relacionado con la rehabilitación respiratoria, menciona que las técnicas que utilizan la compresión de gas, tales como la tos, presiones torácicas, TEF, AFE, ETGOL y el DA, actúan modificando la velocidad y las características del flujo espiratorio, lo cual aumenta la interrelación de gas-líquido. Estas técnicas están indicadas en todas las afecciones hipersecretoras con inestabilidad bronquial, porque tienen la ventaja de producir menos fatiga y menor tendencia a desarrollar un broncoespasmo, y así mismo producen menor compresión dinámica de las vías aéreas, porque la presión transpulmonar se encuentra reducida (24).

También se encontró un estudio donde se utilizaron las técnicas de fisioterapia respiratoria en la distrofia muscular de Duchenne para la eliminación de secreciones. En dicho estudio se evidencia que las técnicas como espiración forzada, la tos, insuflación/espiración mecánica, la hiperinflación manual y el apilamiento de aire son recomendables para eliminar las secreciones localizadas en las vías aéreas proximales para la distrofia muscular de Duchenne. Por otro lado, la técnica de DA no demuestra efectos beneficiosos para estos pacientes. Finalmente se concluye que la aplicación de espiración con labios fruncidos, Elpr, ETGOL, y DA en estos pacientes, no tuvo resultados suficientes para lograr la eliminación de secreciones en vías respiratorias medias y distales (25).

García-Ramos, SR, en el 2011, evidenció que en la evolución natural de las enfermedades neuromusculares se considera importante la asistencia de la tos, no sólo con fines terapéuticos, sino también con fines preventivos; por tanto, se asegura que puede aumentar la sobrevida, mejorar la calidad de vida y la efectividad de la tos en los pacientes portadores de problemas respiratorios con afectación de la musculatura respiratoria, con un objetivo primordial que fue impactar en menor medida la morbilidad, y la menor utilización de recursos sanitarios (26).

Conclusiones

Las técnicas de desobstrucción bronquial tienen como objetivos principales mantener la vía aérea permeable, mejorar la mecánica, ventilación pulmonar y la oxigenación. Estas se clasifican en las técnicas de la Escuela Anglosajona y las técnicas de la Escuela Europea. Dentro de las técnicas de la Escuela Anglosajona se encuentran el drenaje postural (DP), la percusión y la vibración, estas técnicas en la actualidad presentan una evidencia científica controversial.

En cuanto a la Escuela Europea, se encuentran las técnicas basadas en el flujo espiratorio; estas se clasifican en la vía aérea inferior extratorácica y las de la vía aérea superior extratorácica.

Dentro de la clasificación de la vía aérea inferior extratorácica se incluyen las técnicas basadas en la espiración lenta que son: el aumento de flujo espiratorio lento (AFEL), drenaje autógeno (DA), drenaje autógeno asistido (DAA), espiración lenta total con glotis abierta e infralateral (ELTGOL), espiración lenta prolongada (ELpr). Las técnicas basadas en la espiración forzada son la Tos (dirigida, asistida y provocada) y el aumento de flujo espiratorio rápido (AFER).

En la vía aérea inferior extratorácica las técnicas basadas en el flujo inspiratorio son: la desobstrucción rinofaríngea retrograda (DRR) y con instilación (DRR+I), gloso pulsión retrograda (GPR) y los basados en el flujo espiratorio se encuentra la técnica del bombeo traqueal espiratorio (BTE). Las técnicas de la Escuela Europea cuentan con evidencia científica más sólida y son implementadas con mayor frecuencia en la actualidad.

Referencias bibliográficas

1. Pulido MS. Fisioterapia respiratoria. Archivos de bronconeumología. Archivos de bronconeumología. 1994;30 [internet] Barcelona, 1994 [citado 2021 Oct 13]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0300-2896\(15\)31124-8](https://doi.org/10.1016/s0300-2896(15)31124-8)
2. Del Campo García E, Ramos, Santana Rodríguez I. Fisioterapia respiratoria: indicaciones y formas de aplicación en el lactante y el niño. An Pediatr Contin. 2011;9(5):316–9. Rev. Anales de Pediatría Continuada. [Internet]. 2011 [citado 2021 mayo 08]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s1696-2818\(11\)70046-4](https://doi.org/10.1016/s1696-2818(11)70046-4).
3. González Doniz L, Souto Camba S. La Fisioterapia Respiratoria en España: una aproximación a su realidad. Rev iberoam fisioter kinesiol. 2005;8. [Internet]. 2005 [citado 2021 mayo 08]; Vol.8 (2): 45-47. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s1138-6045\(05\)72781-7](https://doi.org/10.1016/s1138-6045(05)72781-7)
4. González Doniz L, Souto Camba S, López García A. Fisioterapia respiratoria: drenaje postural y evidencia científica. Fisioter (Madr, Ed, im-

- presa). 2015;37(2):43–4 [Internet]. 2015 [citado 2021 mayo 08]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ft.2014.12.003>.
5. Alonso López J, Morant P. Fisioterapia respiratoria: indicaciones y técnica. *An Pediatr Contin*. 2004;2(5):303–6 [Internet]. 2004 [citado 2021 mayo 08]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s1696-2818\(04\)71661-3](https://doi.org/10.1016/s1696-2818(04)71661-3)
 6. Guimaraes Varona F, Escobar del Campo M, Aguirre del Busto H, Hernández Gómez N. Terapéutica y rehabilitación en pacientes con fibrosis quística. *AMC* [Internet]. 1997 Abr [citado 2021 mayo 08]; 1(2). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02551997000200003&lng=es. ISSN 1025-0255.
 7. Güell Rous MR, Betoret J LD Sanchis Aldás J. Rehabilitación respiratoria y fisioterapia respiratoria. Un buen momento para su impulso. *Arch Bronconeumol*. 2008;44(1):35–40. [Internet]. 2008 [citado 2021 mayo 08]; Vol. 44(1): 35-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1157/13114663>
 8. Rodríguez B, Moreno V, Plaza M, María Jesús RY. Kinesioterapia respiratoria en pediatría. *Rev. Ped. Elec*. [Internet]. 2017 [citado 2021 mayo 08]; Vol. 14(1). Disponible en: http://www.revistapediatria.cl/volumenes/2017/vol14num1/pdf/KINESOTERAPIA_RESPIRATORIA_PEDIATRIA.pdf ISSN 0718-0918
 9. Saldías PF, Díaz PO. Eficacia y seguridad de la fisioterapia respiratoria en pacientes adultos con neumonía adquirida en la comunidad. *Rev chil enferm respir*. 2012;28(3):189–98 [citado 2021 Mayo 08]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0717-73482012000300004>
 10. Ibarra Cornejo J, Beltrán Maldonado E, Quidequeo Reffers D, Antillanca Hernández B, Fernández Lara MJ, Eugenin Vergara D. Efectividad de las diferentes técnicas de fisioterapia respiratoria en la bronquiolitis. Revisión sistemática. *Rev.Med.Electrón*. [Internet]. 2017 Jun [citado 2021 mayo 08]; 39(3): 529-540. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684182420170003000011&lng=es.
 11. Torres-Castro R, Vilaró J, Puppo H. KINESIOLOGÍA RESPIRATORIA EN NIÑOS CON DISQUINESIA CILIAR PRIMARIA. *Neumol Pediatr*.

- 2019;14(2):100–4. DOI: 10.51451/np.v14i2.89 [citado en octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.51451/np.v14i2.89>
12. Calvo Seco J. Sistema respiratorio; métodos, fisioterapia clínica y afecciones para fisioterapeutas. Editorial médica Panamericana; Edición N°1.2018 [citado en marzo de 2021].
 13. Swaminathan N, Robinson KA, Ray A. Autogenic drainage for airway clearance in cystic fibrosis. Dans: Swaminathan N, directeur. Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]. 2017 [citado 2021 mayo 08]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/14651858.cd009595>
 14. Gómez Grande ML, González Bellido V, Olguin G, Rodríguez H. Manejo de las secreciones pulmonares en el paciente crítico. *Enferm Intensiva*. 2010;21(2):74–82 [Internet]. 2010 [citado 2021 mayo 08]. Vol.21 (2): 74-82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2009.10.003>
 15. Goñi-Viguria R, Yoldi-Arzo E, Casajús-Sola L, Aquerreta-Laraya T, Fernández-Sangil P, Guzmán-Unamuno E, et al. Fisioterapia respiratoria en la unidad de cuidados intensivos: Revisión bibliográfica. *Enferm Intensiva (Engl)*. 2018;29(4):168–81. [Internet]. 2018 [citado 2021 mayo 08]. Vol.29 (4): 168-181. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2018.03.003>
 16. Fernández Carmona A, Olivencia Peña, Yuste Osorio M, Peñas Maldonado L. Tos ineficaz y técnicas mecánicas de aclaramiento mucociliar. *Rev. Medicina Intensiva*. [Internet]. 2018 [citado 2021 mayo 08]. Vol.42 (1): 50-59. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.medin.2017.05.003>
 17. Fernández-Carmona A, Olivencia-Peña L, Yuste-Ossorio ME, Peñas-Maldonado L, Grupo de Trabajo de Unidad de Ventilación Mecánica Domiciliaria de Granada. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2018;42(1):50–9. [citado 2021 mayo 08]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5342>
 18. Pérez C, Peluffo G, Giachetto G, Menchaca A, Pérez W, Machado K, et al. Fisioterapia respiratoria en el tratamiento de niños con infecciones respiratorias agudas bajas. *Arch. Pediatr. Urug*. [Internet]. 2020 Dic [citado

- 2021 mayo 08]; vol.91: 38-39. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-12492020000700038&lng=es.
19. Sánchez Bayle M, Martín Martín R, Cano Fernández J, Martínez Sánchez G, Gómez Martín J, Yep Chullen G, et al. Estudio de la eficacia y utilidad de la fisioterapia respiratoria en la bronquiolitis aguda del lactante hospitalizado. Ensayo clínico aleatorizado y doble ciego. *An Pediatr (Barc)*. 2012;77(1):5-11. [citado 2021 mayo 08]; Vol.77 (1): 5-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2011.11.026>
 20. Martins JA, Dornelas de Andrade A, Britto RR, Lara R, Parreira VF. Effect of slow expiration with glottis opened in lateral posture (ELT-GOL) on mucus clearance in stable patients with chronic bronchitis. *Respir Care*. 2012;57(3):420-6. [citado en 2021 mayo 08] Vol.57 (3):420-426. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22005107/> DOI: <https://doi.org/10.4187/respcare.01082>
 21. Rodríguez N, María Jesús, Burgos R.F, Donaire Jordi G, García de Pedro J, García Río F, Molina París J. Espirometría y otras pruebas funcionales respiratorias. [internet]. 2013 [citado en 2021 mayo 08]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/265847050_Espirometría_y_otras_pruebas_funcionales
 22. Bello Munar, KA, Aplicación de la aceleración deflujo respiratorio durante la ventilación mecánica en niños. *Umbral Científico [Internet]*. 2006; [citado en 2021] (8):41-46. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400806>
 23. Lanza F de C, Wandalsen GF, Cruz CL da, Solé D. *J Bras Pneumol*. 2013;39(1):69-75 [Internet], 2013. [citado en 2021]; Vol. 39(1):69-75. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23503488/>
 24. Rodríguez B, Moreno V. Kinesiterapia respiratoria en pediatría. *Rev. Pediatría electrónica*. [Internet]. 2017 [citado en 2021] Vol.14 (1). Disponible en: http://www.revistapediatria.cl/volumenes/2017/vol14num1/pdf/KINESOTERAPIA_RESPIRATORIA_PEDIATRIA.pdf
 25. Prada L. Efectividad de la Fisioterapia Respiratoria en pacientes con Esclerosis Lateral Amiotrófica. ELA. *Revisión Sistemática*; 2017 [cita-

- do en mayo 2021]. Disponible en: [https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/16273/Estela%20Pra da.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/16273/Estela%20Pra%20da.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
26. García-Ramos, SR. (2011). Fisioterapia respiratoria: indicaciones y formas de aplicación en el lactante y el niño. *An Pediatr Contin.* 2011;9(5):316-9., [Internet], 2011. [citado en mayo de 2021] Vol.9 (5), 316-9. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s1696-2818\(11\)70046-4](https://doi.org/10.1016/s1696-2818(11)70046-4)
27. Santamaría DA; Pacheco Soto CE, Hernández Bolívar CG, del Valle Rivera L. Fisioterapia respiratoria, una alternativa para la eliminación de secreciones en la distrofia muscular de Duchenne. *Rev. De divulgación en fisioterapia* [Internet] 2018 [citado en mayo 2021]; Vol.5 (3):57-63. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6543049>
28. Torres Castro R, Monge G, Vera R, Puppo H, Céspedes J, Vilaró Jo. Estrategias terapéuticas para aumentar la eficacia de la tos en pacientes con enfermedades neuromusculares. *Rev Med Chile* [Internet] 2014 [citado en mayo de 2021]; Vol.142: 238-245. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034988720140002_00013 <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872014000200013>

Capítulo 5

Técnicas de reexpansión pulmonar

Pulmonary re expansion techniques

Sandra Liliana Caisamo Muñoz

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-4869-3670>

✉ sandra.caisamo00@usc.edu.co

Alejandro Segura Ordóñez

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

Universidad del Valle. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-8925-2244>

✉ alejandro.segura00@usc.edu.co

Juan Andrés Laverde Durán

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-3106-5742>

✉ juan.laverde01@usc.edu.co

Resumen

Introducción: Las técnicas terapéuticas de reexpansión pulmonar son un conjunto de técnicas y procedimientos utilizados para prevenir, tratar y estabilizar la ventilación de la región pulmonar de forma global o específica, es decir, disminuir la disnea y mejorar el intercambio gaseoso. **Materiales y métodos:** Se realizó una búsqueda bibliográfica de libros, artículos científicos de tipo explicativos, analíticos y experimentales, revisiones bibliográficas, en las bases de datos: Scielo, ScienceDirect, Elsevier, entre los años de 2011 y 2021, en relación a las técnicas de reexpansión pulmonar. **Resultados** La fisioterapia respiratoria se define como el uso de las diferentes técnicas de fisioterapia empleadas en la intervención del paciente con pato-

Cita este capítulo / Cite this chapter

Caisamo Muñoz SL, Laverde Durán JA, Segura Ordóñez A. Técnicas de reexpansión pulmonar. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 157-187.

logías cardiorrespiratorias. Estas contienen las técnicas de reexpansión pulmonar que incluyen los patrones musculares respiratorios, inspiración profunda sostenida y ejercicios de decúbito inspiratorio controlado (EDIC); la principal finalidad de estas técnicas es reducir las resistencias respiratorias y aumentar los volúmenes pulmonares, desarrollando mejoras en la ventilación modificando los cambios a nivel de ventilación perfusión. Todo esto origina la optimización de la capacidad funcional y aumentar la calidad de vida. **Conclusión:** Se pudo evidenciar que las estadísticas presentadas en los estudios demostraron que a medida que pasa el tiempo de recuperación, el paciente mejora su capacidad pulmonar, es posible concluir que existe una relación entre la optimización del paciente y las técnicas de reexpansión pulmonar explicadas anteriormente, debido a diferentes factores principales que ayudan a mejorar los volúmenes pulmonares y la capacidad respiratoria del paciente.

Palabras clave: servicio de fisioterapia en hospital, modalidades de fisioterapia, ejercicios respiratorios, mediciones del volumen pulmonar, atelectasia pulmonar, pulmón, volumen residual.

Abstract

Introduction: The therapeutic techniques of pulmonary re-expansion are a set of techniques and procedures used to prevent, treat and stabilize the ventilation of the pulmonary region in a global or specific way, decrease dyspnea, improve gas exchange. **Materials and methods:** A bibliographic search of books, explanatory, analytical and experimental scientific articles, bibliographic reviews, was carried out in the databases: Scielo, ScienceDirect, Elsevier, between the years 2011 and 2021, in relation to re expansion techniques. **Results:** Respiratory physiotherapy is defined as the use of different physiotherapy techniques used in the intervention of patients with cardio respiratory pathologies; these include non-instrumental pulmonary re-expansion techniques, that include respiratory muscle patterns, sustained deep inspiration and Controlled Inspiratory Decubitus Ex-

ercises (EDIC), the main purpose of these techniques is to reduce respiratory resistances and increase pulmonary volumes, developing improvements in ventilation by modifying changes at the level of perfusion ventilation. All this leads to the optimization of functional capacity and increases quality of life. **Conclusion:** It could be evidenced that the statistics presented in the studies, showed that as the recovery time passes the patient improves his pulmonary capacity, it is possible to conclude that there is a relationship between the optimization of the patient and the pulmonary re-expansion techniques, explained above due to different main factors; which help to improve the pulmonary volumes and the respiratory capacity of the patient.

Keywords: physical therapy department, hospital, physical therapy modalities, breathing exercises, lung volume measurements, pulmonary atelectasis, lung, residual volume.

Introducción

Las técnicas terapéuticas de reexpansión pulmonar son un conjunto de técnicas y procedimientos utilizados para prevenir, tratar y estabilizar la ventilación de la región pulmonar de forma global o específica, es decir, disminuir la disnea y mejorar el intercambio gaseoso. Estas técnicas utilizan el ciclo respiratorio (inspiración y espiración) para mejorar o mantener en el paciente los volúmenes y capacidades pulmonares.

Algunas de las técnicas utilizan retroalimentación al paciente de forma visual para garantizar la consecución de metas de flujo o volumen, mientras que otras se valen de la aplicación de estímulo táctil a partir del aire inspirado en distintas áreas de la pared torácica, para lograr una expansión torácica dirigida, de forma eficaz en áreas pulmonares afectadas.

Diferentes estudios soportan la utilización de las técnicas de reexpansión pulmonar para prevenir y tratar las complicaciones pulmona-

res, derivadas de intervenciones que afectan de forma directa o indirecta la caja torácica, o de patologías que favorecen la disminución o pérdida de los volúmenes y capacidades pulmonares. Se pueden realizar iniciando con inspiraciones profundas o inspiraciones máximas sostenidas, ejecutando una apnea al final de cada una y terminando con una espiración lenta pasiva, esta inspiración como se menciona beneficia la expansión de las estructuras torácicas, en los pacientes intubados es empleada la hiperinflación manual, y finalmente en pacientes consientes el uso de ejercicios respiratorios.

En el presente capítulo se abordarán las técnicas de reexpansión pulmonar no instrumentales dentro de las que se incluyen los patrones musculares respiratorios que incluyen: ventilación tranquila o patrón diafragmático, ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media, ventilación a nivel de la capacidad inspiratoria máxima, patrón ventilatorio con inspiración fraccionada en tiempos, patrón con suspiros inspiratorios, patrón ventilatorio con espiración abreviada, patrón ventilatorio a nivel de capacidad residual funcional (CRF), patrón respiratorio a nivel de volumen residual (VR). Además, otras técnicas como ejercicio de débito inspiratorio controlado (EDIC), inspiración profunda sostenida y ciclo activo de la respiración. También se menciona evidencia científica encontrada sobre las técnicas de reexpansión pulmonar no instrumentales. Las técnicas de reexpansión instrumental como la espirometría de incentivo, se incluyen en el capítulo sobre técnicas instrumentales.

Técnicas de reexpansión pulmonar no instrumentales

A continuación, se describen las técnicas que son realizadas por el paciente con el apoyo del profesional en fisioterapia, en donde se indican comandos verbales, contactos manuales, posición del paciente, así como las indicaciones y contraindicaciones. En la tabla 8 se describen indicaciones y contraindicaciones de las técnicas de reexpansión pulmonar:

Tabla 8. Indicaciones y contraindicaciones de las técnicas de reexpansión pulmonar.

EJERCICIOS DE REEXPANSIÓN PULMONAR	Indicaciones	• Patologías con ruidos respiratorios normales como el murmullo vesicular disminuido o abolido. • Neumonías. • Tratamiento de atelectasias. • Reducir complicaciones pulmonares como atelectasias, desaturación en post operatorios como cirugías cardíacas, y abdominales. • Enfermedades neuromusculares como la esclerosis lateral mmiotrófica (ELA) o Guillan Barré, en donde se presente debilidad de la musculatura respiratoria. • Uso de fajas o corsés que restrinjan la expansión del tórax. • Reposo prolongado en cama y desacondicionamiento físico. • Se indican con el objetivo de mejorar y mantener volúmenes y capacidades pulmonares. • En cuanto a la realización, requieren de la cooperación del paciente debido a que son ejercicios activos, se pueden aplicar desde los tres o cuatro años en adelante.
	Contraindicaciones	• Falta de cooperación del paciente. • Dolor e hiperreactividad en periodo postoperatorio de una neumonectomía • Pacientes que no sean capaces de generar inspiración profunda. • Presencia de broncoespasmo en estado moderado a severo. • Signos de fatiga de los músculos respiratorios. • Pacientes que se encuentren hemodinámicamente inestables (taqui o bradicardicos, hiper o hipotensos, desaturados, con requerimiento de vasoactivos, deterioro del estado de conciencia, con uso de músculos accesorios de la respiración) • Neumotórax no drenado. • Disfunción pulmonar obstructivas, Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), presencia de bulas enfisematosas.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9, se mencionan las técnicas no instrumentales que se abordarán en el presente capítulo:

Tabla 9. Técnicas manuales no instrumentales.

TÉCNICAS MANUALES NO INSTRUMENTALES		
EJERCICIOS DE REEXPANSIÓN PULMONAR	Patrones musculares respiratorios	• Ventilación tranquila o patrón diafragmático. • Ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media. • Ventilación a nivel de la capacidad inspiratoria máxima (apnea máxima post inspiratoria). • Patrón ventilatorio con inspiración fraccionada en tiempos. • Patrón con suspiros inspiratorios. • Patrón ventilatorio con espiración abreviada. • Patrón ventilatorio a nivel de capacidad residual funcional (CRF). • Patrón respiratorio a nivel de volumen residual (VR).
	Otras técnicas	• Ejercicio de débito inspiratorio controlado (EDIC). • Inspiración profunda sostenida. • Ciclo activo de la respiración. • Espirometría de incentivo. • Presión positiva intermitente. • Ventilación mecánica no invasiva (VMNI)

Fuente: Elaboración propia.

Patrones Musculares Respiratorios (PMR)

Las investigaciones de Alfredo Cuello y colaboradores en el año 1982 comprobaron los patrones musculares respiratorios en diversas patologías con la utilización de gammagrafía pulmonar con xenón, y de esta manera se pudo observar la distribución regional de la ventilación y su cuantificación (1). Midieron las variaciones de la presión

transdiafragmática y realizaron registros fono cartográficos, comprobaciones auscultatorias y radiográficas (1).

Fue posible evidenciar que en diferentes tipos de estudios el dominio espontáneo de la respiración, posibilita el reparto selectivo de flujo aéreo y predomina claramente durante la inspiración, de igual forma se demostró que la retracción diafragmática estimula el incremento de actividad, con desplazamiento de aire hacia las zonas basales de los pulmones (1)

Los patrones respiratorios muestran que:

- El control voluntario, proporciona la distribución selectiva del flujo aéreo y esto claramente influye en la función respiratoria; de igual modo muestra que la contracción en el diafragma genera una notable actividad sobre las áreas inferiores, lo cual produce movimiento del aire hacia las zonas basales del pulmón.
- En cuanto a los suspiros inspiratorios se observó notablemente aumento en la CPT, especialmente en las zonas basales del pulmón.
- Con la espiración abreviada aumentan la CRF y la CPT.
- Las respiraciones realizadas desde la CRF logran aumentar la ventilación en las zonas basales y las respiraciones desde VR aumentan la ventilación apical.
- Los PMR mejoran la ventilación de las unidades respiratorias mal ventiladas y eventualmente expanden las unidades alveolares y los bronquios; mejorando la difusión de los gases y generando un incremento de la expansión pulmonar, debido a un aumento de la distribución regional de la ventilación pulmonar selectiva.

Su principal objetivo es generar una ventilación tranquila y favorecer las respiraciones suaves realizadas por el paciente, mediante un esfuerzo respiratorio mínimo que beneficia la reexpansión de las vías

aéreas colapsadas y el estiramiento de estas, a través de un incremento en el volumen inspiratorio y la diferencia de presión transpulmonar, activando el desplazamiento costal y diafragmático, potenciando la amplitud pulmonar, el volumen y favoreciendo el intercambio gaseoso en los pulmones (1).

En cuanto a los componentes que se deben tener en cuenta para la realización de las técnicas están:

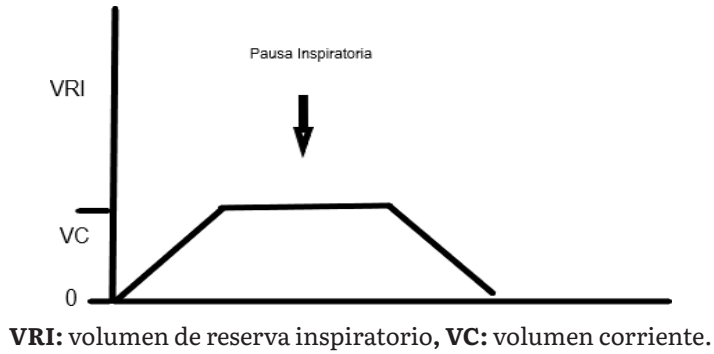
- La postura que debe adoptar el fisioterapeuta durante la aplicación de estos patrones; debe ser establecida según la región pulmonar que se desee favorecer.
- La localización hace referencia al estímulo manual-propioceptivo donde se coloca la mano, ya sea: diafragmática, costal inferior basal + esternal; costal posterior; costal lateral, en los hemitórax.
- Variación de la técnica.
- El patrón muscular a elegir.

Los PMR que se describen a continuación son los siguientes: ventilación tranquila o patrón diafragmático, ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media, ventilación a nivel de la capacidad inspiratoria máxima, patrón ventilatorio con inspiración fraccionada en tiempos, patrón con suspiros inspiratorios, patrón ventilatorio con espiración abreviada, patrón ventilatorio a nivel de capacidad residual funcional (CRF), patrón respiratorio a nivel de volumen residual (VR).

Ventilación tranquila o patrón diafragmático

Es un tipo de respiración pulmonar que se da de manera suave y tranquila, esta respiración se enfoca principalmente en el músculo diafragma; la respiración puede ser oral o nasal y normalmente utiliza un nivel de volumen corriente (figura 53).

Figura 53. Fases de la técnica ventilación tranquila o patrón diafragmático.



Fuente: Elaboración propia.

El fisioterapeuta puede realizar un estímulo a nivel abdominal al final de la espiración e inicio de la inspiración con el fin de indicar que la ventilación pulmonar debe dirigirse a las bases pulmonares, al igual que un bloqueo manual a nivel de los ápices pulmonares (figura 54).

Figura 54. Ventilación tranquila o patrón diafragmático.



Fuente: Elaboración propia.

La frecuencia respiratoria que se debe establecer en este patrón diafrágico es de 12 a 16 respiraciones por minuto; además se debe realizar una pausa inspiratoria de un segundo.

Ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media

Esta técnica evidencia que el paciente acoge un sistema de ventilación espontánea y dirigida, en donde la inspiración se va a efectuar al nivel del VRI de forma tranquila y calmada por las fosas nasales preferiblemente. Al comienzo la espiración se va a realizar a través de la vía oral sin acceder a variaciones fuertes, utilizando la espiración con labios fruncidos (ELF) (figura 55).

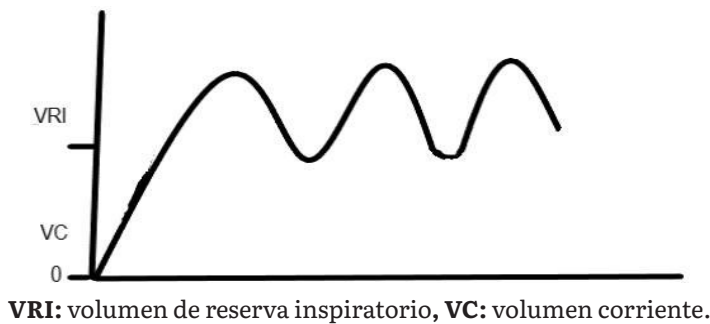
Figura 55. Ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media.



Fuente: Elaboración propia.

El nivel de los volúmenes tiene que permanecer lo más constante posible y estableciendo una relación y coherencia con el patrón diafragmático, este ejercicio va a facilitar el incremento de la profundidad ventilatoria ayudando a los pacientes con afectación en la distensibilidad pulmonar, sin crecimiento de las resistencias de las vías aéreas pulmonares. La figura 56 muestra las fases de la técnica.

Figura 56. Fases de la técnica ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media.



Fuente: Elaboración propia.

Ventilación a nivel de la capacidad inspiratoria máxima (apnea máxima post inspiratoria)

Es un tipo de respiración profunda que se da a nivel de la capacidad inspiratoria máxima; la inspiración se realiza de manera nasal, pausada y semejante evitando a toda costa el excesivo aumento del trabajo respiratorio, se puede involucrar la movilización de miembros superiores para aumentar la amplitud de la caja torácica.

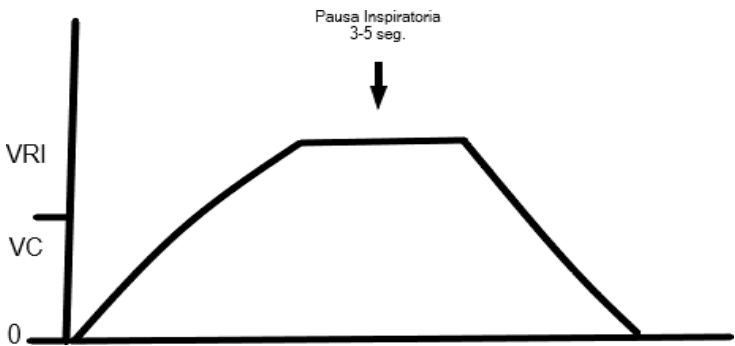
En esta respiración se realiza una pausa inspiratoria; es decir una apnea de tres a diez segundos, lo cual busca optimizar un destacado reparto del gas inspirado y por consiguiente la transmisión a partir de la membrana alveolo-capilar; al momento de la espiración esta se realiza por vía oral (figura 57). La figura 58 muestra las fases de la técnica.

Figura 57. Ventilación a nivel de capacidad inspiratoria máxima.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Fases de la técnica ventilación a nivel de capacidad inspiratoria máxima.



VRI: volumen de reserva inspiratorio, **VC:** volumen corriente.

Fuente: Elaboración propia.

Patrón ventilatorio con inspiración fraccionada

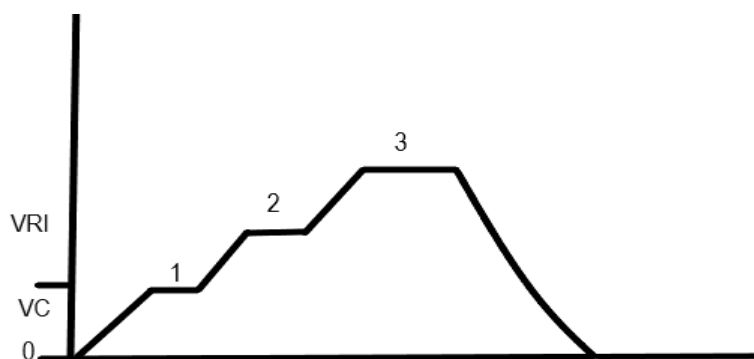
El manejo de varias inspiraciones entre sí en el mismo periodo ventilatorio, beneficia el empleo de volumen inspiratorio con un claro propósito re-expansivo. Se enfoca en realizar de manera corta y suave inspiraciones por la vía aérea nasal y detenerla por cortos ciclos de apnea (aproximadamente de dos segundos) de manera post-inspiratoria planificando entre dos hasta un máximo de seis tiempos sucesivos, de acuerdo con la capacidad pulmonar del paciente.

La espiración se da por la vía aérea oral hasta el nivel de descanso inspiratorio, o se alarga hasta la altura del volumen medio de reserva espiratorio (figura 59). La figura 54 muestra las fases de la técnica.

Figura 59. Patrón ventilatorio con inspiración fraccionada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Fases de la técnica patrón ventilatorio con inspiración fraccionada.

VRI: volumen de reserva inspiratorio, **VC:** volumen corriente.

Fuente: Elaboración propia.

Patrón con suspiros inspiratorios

Este patrón respiratorio consiste en realizar inspiraciones cortas de manera sucesiva y enérgica sin pausas inspiratorias, entre dos y un máximo de seis suspiros inspiratorios hasta alcanzar y completar la CPT.

La última fase de la inspiración se debe realizar de forma oral, así mismo que la espiración (figura 61). Este patrón es de mayor utilidad cuando hay un gran compromiso basal, debido a que los suspiros inspiratorios aumentan la CPT.

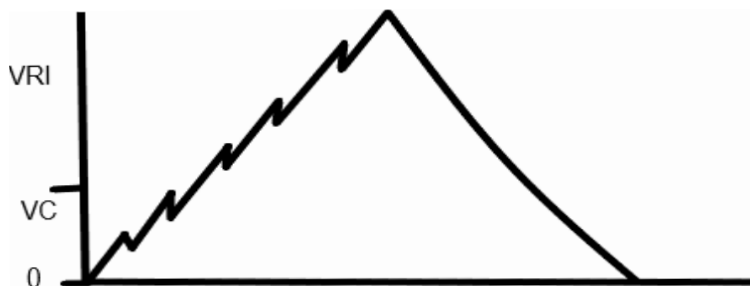
También, se puede involucrar el uso de miembros superiores durante la fase de expansión, a fin de promover una mayor apertura de la caja torácica. La figura 62 muestra las fases de la técnica.

Figura 61. Patrón con suspiros inspiratorios.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 62. Fases de la técnica suspiros inspiratorios.



VRI: volumen de reserva inspiratorio, **VC:** volumen corriente.

Fuente: Elaboración propia.

Patrón ventilatorio con espiración abreviada

La principal finalidad de esta técnica es la optimización del VRE, la CRF y CPT, todo esto para promover la distensión alveolar y disminuir los infiltrados intersticiales. Consiste en ciclos intermitentes de inspiración profunda combinada con pequeñas espiraciones con una relación de 3:1 respectivamente. Para la realización de esta técnica se le debe pedir al paciente que realice una inspiración suave, luego espire el aire un poco, seguido debe volver a inspirar y nuevamente espirar otro poco, por último, deberá inspirar profundo y espirar el aire completamente (figura 63). La figura 64 muestra las fases de la técnica.

Figura 63. Patrón ventilatorio con espiración abreviada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Fases de la técnica patrón ventilatorio con espiración abreviada.



VRI: Volumen de reserva inspiratorio, **VC:** volumen corriente.

Fuente: Elaboración propia

Patrón ventilatorio a nivel de CRF

Este patrón respiratorio consiste en una espiración que se realiza por vía oral de manera tranquila hasta alcanzar el nivel de reposo espiratorio, es decir a nivel de la CRF comprendida como la cantidad de aire que queda en el pulmón luego de realizar una espiración tranquila, seguido de una inspiración en el nivel de VC o nivel de reserva inspiratorio (Figura 65).

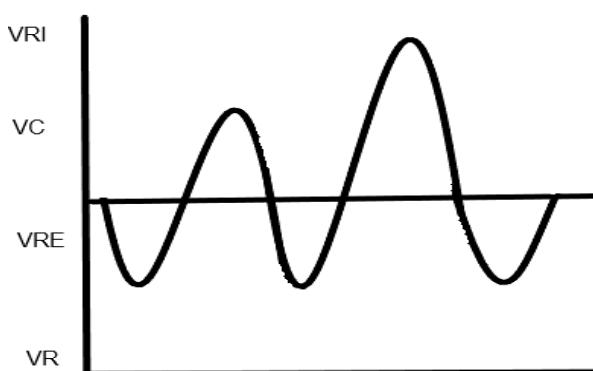
La figura 66 muestra las fases de la técnica.

Figura 65. Patrón ventilatorio a nivel de CRF.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. Fases de la técnica patrón ventilatorio a nivel de CRF.



VRI: volumen de reserva inspiratorio, **VC:** volumen corriente, **VRE:** volumen de reserva espiratorio, **VR:** volumen residual.

Fuente: Elaboración propia.

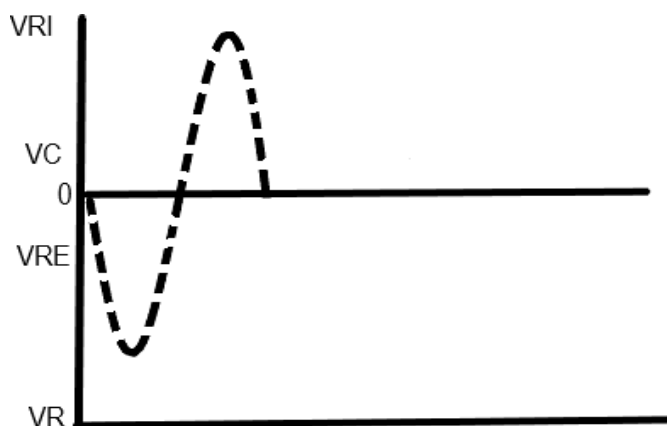
Patrón respiratorio a nivel de VR

Este patrón respiratorio se basa en una espiración oral forzada hasta llegar al VR, comprendido como el volumen de aire que queda en el pulmón después de una espiración forzada, seguida de una inspiración nasal hasta el final del VRI (figura 67).

Figura 67. Patrón respiratorio a nivel de VR.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68. Fases de la técnica patrón respiratorio a nivel de VR.

VRI: volumen de reserva inspiratorio, **VC:** volumen corriente, **VRE:** volumen de reserva espiratorio, **VR:** volumen residual.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realiza la descripción de las técnicas de reexpansión pulmonar: ejercicio de débito inspiratorio controlado (EDIC), inspiración profunda sostenida y el ciclo activo de la respiración.

Ejercicio de Débito Inspiratorio Controlado (EDIC)

En los ejercicios de débito inspiratorio controlado (EDIC) el pulmón a re expandir se es ubicado en posición de decúbito lateral, asegurando que el pulmón afectado quede en la parte superior (supralateral) para favorecer la máxima inflación de la zona a tratar; el paciente inhala por la nariz, de manera lenta y profunda hasta llegar a la capacidad pulmonar total (CPT); luego se realiza una pausa teleinspiratoria y después exhala pasivamente, es común utilizar esta técnica en combinación con otras técnicas de movilización torácica y/o con el uso técnicas instrumentales como el inspirómetro incentivo (figura 69).

El paciente debe colocarse en decúbito supino al borde de la camilla con el pulmón que se va a tratar en posición supralateral, el fisioterapeuta

debe ubicarse por detrás del paciente. Se le indica al paciente que inspire lenta y profundamente, luego que haga una pausa al final de la inspiración de tres a cinco segundos y posteriormente realice la espiración de manera normal, esta técnica es descrita por el autor Postiaux (2).

Figura 69. EDIC.



Fuente: Elaboración propia.

El principio fisiológico de esta técnica se basa en la posición supra lateral. El gas inspirado al no verse afectado por la gravedad ocupa de forma primaria el pulmón localizado en la parte superior, provocando unidades alveolares más grandes las cuales podrán favorecer la distribución del aire, a través de la ventilación colateral a zonas con constante de llenado alveolar más lento.

Los efectos de esta expansión regional pasiva de los espacios aéreos periféricos, obtenida por la hiper inflación relativa del pulmón supralateral y el aumento del diámetro transversal del tórax obtenido por la inspiración profunda favorece la ventilación global y regional (2,3).

Inspiración Profunda Sostenida

Esta técnica de inspiración profunda sostenida consiste en inspirar de manera lenta y profunda de forma nasal, sosteniendo el aire de dos a cinco segundos y posteriormente realizar una espiración pasiva (figura 70).

El efecto que produce la inspiración lenta es mejorar la ventilación basal, debido a que favorece la distribución del aire a las zonas dependientes del pulmón; el momento de la pausa inspiratoria potencializa el reparto de aire inspirado mediante la ventilación colateral del pulmón.

Uno de los principales objetivos de esta técnica es establecer la apertura de unidades alveolares afectadas, evitando las atelectasias y manteniendo y mejorando los volúmenes y capacidades pulmonares (4).

Esta es una técnica muy similar a la reportada por Alfredo Cuello quien la denomina ventilación a nivel de capacidad inspiratoria máxima en los PMR, sin embargo, en diversos estudios encontrados es reportada con el nombre de inspiración profunda sostenida (5).

Figura 70. Inspiración Profunda Sostenida.



Fuente: Elaboración propia.

La forma más común para evaluar y monitorizar los efectos de esta técnica en el sistema respiratorio son la radiografía de tórax, la tomografía axial computarizada, la broncoscopia, la espirometría, la sintomatología clínica en el paciente y la auscultación. No obstante, el carácter invariable e invasivo de la técnica, o en otro caso la exposición a radiación ionizante en el paciente, esto ha ocasionado que se busquen otras alternativas de revisión más dinámicas que se puedan realizar con el paciente en cama; actualmente la técnica conocida como la tomografía de impedancia eléctrica (TIE) cumple con aspectos tecnológicos para la evaluación de este tipo de intervenciones (6).

Ciclo activo de la respiración

Es una técnica que utiliza ejercicios respiratorios tanto para reexpansión pulmonar como para remover secreciones de los pulmones; usualmente se utiliza como una técnica de aclaramiento bronquial, en conjunto con el drenaje postural o la vibración.

Entre las reglas generales se incluyen:

- Tratar de mantener un patrón respiratorio adecuado, con los hombros y cuello relajados.
- Tratar de respirar a través de la nariz y espirar por la boca. Espirar debe ser lento.

Puede realizarse en sedente o en las diferentes posiciones del drenaje postural. Inicialmente se debería iniciar en sedente, a no ser que el fisioterapeuta indique otra posición.

El ciclo activo de la respiración involucra técnicas de inspiración profunda, para promover la movilización de las secreciones desde las vías aéreas de pequeño calibre hasta la parte alta de los pulmones, donde puedan ser eliminadas fácilmente mediante la tos.

Consta de tres fases: control respiratorio, ejercicios de respiración profunda, espiración forzada.

El ciclo se repite de diez a quince minutos hasta sentir el tórax limpio.

- **Control respiratorio** (También denominado respiración abdominal)

Descansar una mano en el abdomen, mantener los hombros y el tórax superior relajado, permitiendo a la mano de manera generosa subir con la inspiración (Si se imagina que se llena el abdomen de aire como un balón, podría ayudar). Esta fase es esencial como la parte del ciclo del descanso.

- **Ejercicios de respiración profunda**

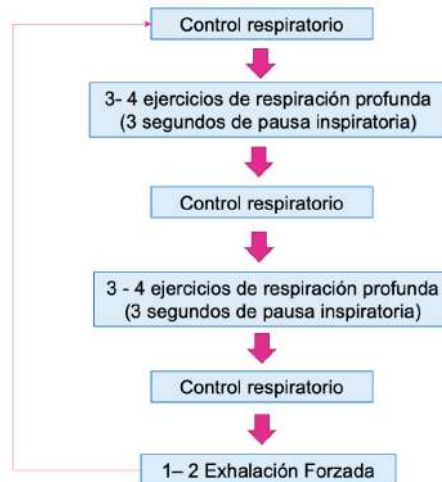
Tomar entre tres a cinco inspiraciones profundas por la nariz. Pause al final de cada respiración de dos a tres segundos, luego exhale por la boca.

- **Exhalación forzada**

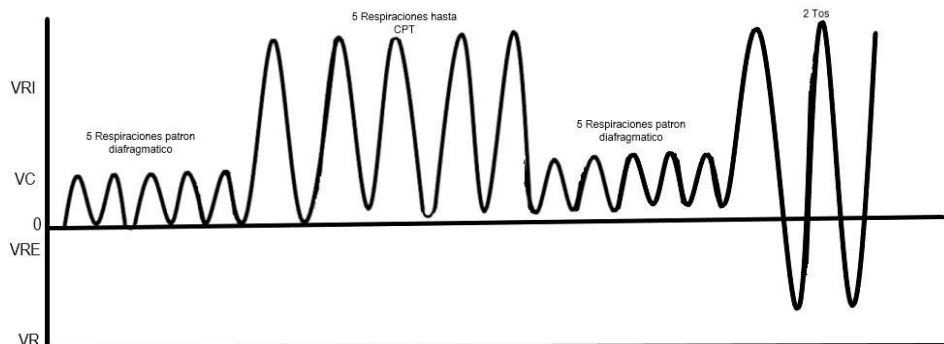
Es una manera de espirar de manera forzada a través de la boca, pero sin toser, hay dos tipos de exhalación:

- Exhalación a mediano volumen: Ayuda a movilizar las secreciones que se encuentran en las vías respiratorias distales. Se toma una respiración tranquila y luego una activa, luego se realiza una exhalación prolongada.
- Exhalación a alto volumen: Ayuda a movilizar las secreciones de las vías aéreas superiores. Se toma una respiración profunda, se abre la boca y se exhala rápidamente. Solo de una a dos exhalaciones de manera repetida deben realizarse, ya que realizar más podría hacer sentir el tórax comprimido (7) (figuras 71 y 72).

Figura 71. Ciclo activo de la respiración.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 72. Fases del ciclo activo de la respiración.

VRI: volumen de reserva inspiratorio, **VC:** volumen corriente, **VRE:** volumen de reserva espiratorio, **VR:** volumen residual.

Fuente: Elaboración propia.

Evidencia científica de las técnicas de reexpansión pulmonar

Este es un estudio que presenta una investigación de tipo cuantitativo con un método de investigación cuasi-experimental; se realizó con dos grupos de diseño pre-test y post-test. El objetivo de este estudio es comparar las técnicas ACBT (Técnica de Ciclo de la Respiración) y PLBT (Técnica de Respiración con Labios Fruncidos), en pacientes con EPOC para disminuir la disnea y aumentar la saturación de oxígeno SaO_2 ; este estudio se realizó en el año 2020 en un hospital.

La muestra en este estudio fue de 30 pacientes con la técnica de muestreo; durante el estudio se mostró que había una diferencia en el aumento de la saturación de los pacientes con EPOC en el grupo al que se le aplicó la técnica ACBT con un valor 0,00; mientras el grupo que se le aplicó la técnica PLBT tuvo una diferencia de valor de 0,023.

Se llegó a la conclusión de que ambas técnicas aumentan la saturación de oxígeno y disminuyen la disnea, pero la técnica ACT es más eficaz

en los pacientes con EPOC, debido a que la disnea se produce a consecuencia de la obstrucción por secreciones y la técnica ACT ayuda a limpiar las vías respiratorias y aumenta el flujo respiratorio, lo cual refleja el aumento de la saturación y disminución de la disnea (7).

Otro estudio acerca de los beneficios de los ejercicios respiratorios sobre las complicaciones pulmonares en pacientes que fueron sometidos a CABG, es decir la reducción de atelectasias después del postoperatorio, fue publicado en la revista *Reviews on Recent Clinical Trials* en el año 2019; el tipo de investigación fue un ensayo clínico de manera aleatoria, se realizó una muestra de 100 pacientes, los cuales fueron sometidos a cirugías de injerto de derivación de la arteria coronaria; estos fueron asignados aleatoriamente en dos grupos uno de experimentación y otro de control, cada grupo constó de 50 pacientes; el grupo experimental, antes de la operación, se inscribió y sometió a un protocolo que incluía ejercicios de respiración profunda, tos e inspirómetro de incentivo.

En el grupo de control se aplicó la rutina de fisioterapia del hospital; todos los pacientes recibieron terapia una vez al día durante dos a tres minutos en los primeros cuatro días del postoperatorio, al finalizar la rutina se compararon los resultados de gasometría y atelectasias entre los dos grupos; en los resultados se evidenció que el grupo que recibió ejercicios de respiración profunda, tuvo diferencias significativas en la reducción de complicaciones pulmonares, en comparación con el grupo que no realizó ejercicios respiratorios, sino solamente la rutina habitual de fisioterapia del hospital (8).

En otro artículo se estudió y evidenció la efectividad de los ejercicios respiratorios, en la prevención de complicaciones en pacientes sometidos a cirugía de corazón abierto, tanto en pacientes de alto riesgo como de bajo riesgo, este se realizó en la Universidad Estatal de New York; se realizó una muestra con 40 pacientes que fueron sometidos a cirugía de corazón abierto, se dividieron en dos grupos experimentales, pacientes de alto riesgo y de bajo riesgo; ambos grupos recibieron una sesión de enseñanza preoperatoria y tratamiento dos veces al día durante los primeros cuatro días después de la intubación; los 40

pacientes recibieron los cuidados postoperatorios habituales; con la aplicación de los ejercicios respiratorios se logró ver la reducción de la incidencia de complicaciones pulmonares y la necesidad de catéteres endotraqueales percutáneos en el grupo de alto riesgo; debido a estos resultados obtenidos en el estudio, se concluyó que la aplicación de los ejercicios respiratorios es eficiente en pacientes quirúrgicos de cirugía de corazón abierto (9).

En otro estudio, el objetivo fue investigar los efectos de la técnica de inspiración profunda en la función pulmonar, la reducción de las atelectasias y los niveles de los gases en sangre arterial, después de la cirugía de injerto de derivación de la arteria coronaria; participaron 115 pacientes que fueron sometidos a cirugía de CABG en un hospital universitario; no se incluyeron pacientes que tenían operaciones de urgencia, cirugías cardíacas previas, disfunción renal grave o dificultades para cooperar durante las mediciones.

Este estudio tuvo un diseño de tipo prospectivo y aleatorio, los pacientes fueron asignados en dos grupos aleatoriamente, un grupo de respiración profunda en el cual se realizaron ejercicios de respiración profunda después de la operación y otro grupo de control, en el que no se aplicó esta técnica; para realizar este estudio se obtuvo consentimiento informado de cada paciente y el estudio fue aprobado por el Comité Ético de investigación local.

En el grupo de inspiración profunda se les indicó que realizaran ejercicios respiratorios cada hora durante el día y durante los primeros cuatro días del postoperatorio; estos ejercicios consistieron en 30 respiraciones de manera lenta y profunda y con ayuda de un dispositivo de presión inspiratoria positiva; al cuarto día postoperatorio se realizaron las mediciones, los resultados arrojaron, en cuanto a las atelectasias, que las tenían la mitad en el grupo de pacientes que realizó la técnica de respiración profunda en comparación con el grupo control que no realizó esta técnica; de igual manera estos pacientes que no realizaron los ejercicios también presentaron una reducción significativa de la capacidad vital forzada.

En conclusión, los pacientes que realizaron ejercicios de inspiración profunda después de una operación CABG presentaron áreas atelectásicas significativamente menores y una mejor calidad de vida; además una mejor función pulmonar en relaciones con el grupo control que no realizó ejercicios de inspiración profunda (10).

Conclusiones

En los diferentes estudios de las técnicas de reexpansión pulmonar en diversas patologías, en las cuales se aplicaron las diferentes técnicas, se observan beneficios como el mantenimiento y mejoramientos de los volúmenes y capacidades pulmonares.

Las estadísticas presentadas en los estudios demostraron que a medida que pasa el tiempo de recuperación, el paciente mejora su capacidad pulmonar; es posible concluir que existe una relación entre la optimización del paciente y las técnicas de reexpansión pulmonar explicadas anteriormente, debido a diferentes factores principales, que ayudan a mejorar los volúmenes pulmonares y la capacidad respiratoria del paciente.

Por otro lado, al comparar los análisis se demostró que hace falta realizar más estudios y comprobar estas técnicas más a fondo debido a la poca evidencia científica encontrada; sin embargo, es debido a esto que se puede decir que las técnicas de reexpansión pulmonar y los patrones respiratorios pueden ser efectivos en diferentes tipos de patologías, especialmente en aquellos que cuentan con una patología restrictiva.

Referencias bibliográficas

1. Espinosa Cuellar I, Gallego Peña P, Morillo Basante D. [Internet]. Bibliotecadigital.univalle.edu.co. 2014 [cited 11 May 2021]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8839/1/>

COMPLICACIONES%20RESPIRATORIAS%20EN%20PACIENTES%20DE%20CIRUGIA%20ABDOMINAL%20ALTA.pdf

2. Postiaux G. La kinésithérapie respiratoire du poumon profond. Bases mécaniques d'un nouveau paradigme. *Revue des Maladies Respiratoires*. 2014;31(6):552–567 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2013.11.009>.
3. Santos S. Efeitos da aplicação do EDIC na função cardiorrespiratória em 3 grupos específicos de crianças [Internet]. Bdigital.ufp.pt. 2014 [cited 14 May 2021]. Disponible en: <https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/5686>
4. Segura Ordoñez A. Efecto de dos técnicas de reexpansión pulmonar en la ventilación de pacientes sometidos a cirugía cardiovascular. *Ensayo clínico controlada fase II* [Internet]. Core.ac.uk. 2021 [cited 4 May 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/display/335374926>
5. Westerdahl E, Lindmark B, Eriksson T, Friberg ö, Hedenstierna G, Tenling A. Deep-Breathing Exercises Reduce Atelectasis and Improve Pulmonary Function After Coronary Artery Bypass Surgery. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.128.5.3482>
6. Westerdahl E, Urell C, Jonsson M, Bryngelsson IL, Hedenström H, Emtner M. Deep breathing exercises performed 2 months following cardiac surgery: A randomized controlled trial. *J Cardiopulm Rehabil Prev* [Internet]. 2014 Jan [cited 2021 May 1];34(1):34–42. DOI: <https://doi.org/10.1097/hcr.0000000000000020>
7. Zuriati Z, Surya M, Zahlimar. Effectiveness Active Cycle of Breathing Technique (ACBT) with Pursed Lips Breathing Technique (PLBT) to tripod position in increase oxygen saturation in patients with COPD, West Sumatera - ScienceDirect [Internet]. *Enfermería Clínica*. 2020 [cited 2021 May 18]. p. 30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.11.046>
8. Moradian ST, Heydari AA, Mahmoudi H. What is the Role of Preoperative Breathing Exercises in Reducing Postoperative Atelectasis after CABG? *Rev Recent Clin Trials* [Internet]. 2019 Jul 11 [cited 2021 May 18];14(4):275–9. DOI: <https://doi.org/10.2174/1574887114666190710165951>

9. Vraciu JK, Vraciu RA. Effectiveness of breathing exercises in preventing pulmonary complications following open heart surgery. *Phys Ther* [Internet]. 1977 [cited 2021 May 18];57(12):1367-71. DOI: <https://doi.org/10.1093/ptj/57.12.1367>
10. Westerdahl E, Lindmark B, Eriksson T, Friberg Ö, Hedenstierna G, Tenling A. Deep-breathing exercises reduce atelectasis and improve pulmonary function after coronary artery bypass surgery. *Chest* [Internet]. 2005 [cited 2021 May 18];128(5):3482-8. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.128.5.3482>
11. Lawrence VA, Cornell JE, Smetana GW. Strategies to reduce postoperative pulmonary complications after noncardiothoracic surgery: Systematic review for the American College of Physicians [Internet]. Vol. 144, *Annals of Internal Medicine*. American College of Physicians; 2006 [cited 2021 May 18]. p. 596-608. DOI: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-144-8-200604180-00011>
12. Urell C, Emtner M, Hedenström H, Tenling A, Breidenskog M, Westerdahl E. Deep breathing exercises with positive expiratory pressure at a higher rate improve oxygenation in the early period after cardiac surgery - a randomised controlled trial. *Eur J Cardio-thoracic Surg* [Internet]. 2011 Jul [cited 2021 May 1];40(1):162-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2010.10.018>
13. Agostini P, Cieslik H, Rathinam S, Bishay E, Kalkat MS, Rajesh PB, et al. Postoperative pulmonary complications following thoracic surgery: are there any modifiable risk factors? *Thorax*. 2010;65(9):815-8. [cited 13 May 2021]. DOI: <https://doi.org/10.1136/thx.2009.123083>
14. Sehlin M, Ohberg F, Johansson G, Winso O. [Internet]. *Rc.rc journal*. com. 2007 [cited 13 May 2021]. Disponible en: <http://rc.rcjournal.com/content/respcaire/52/8/1000.full.pdf>

Capítulo 6

Técnicas instrumentales de fisioterapia respiratoria

Instrumental techniques respiratory physiotherapy

Julián Rodrigo Quinayás Otaya

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-0813-2759>

✉ julian.quinayas00@usc.edu.co

Lina Verónica Chavarro Aaron

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-0743-9596>

✉ lina.chavarro00@usc.edu.co

Laura Yineth Cantoñi Banguero

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-7772-3926>

✉ laura.cantoni00@usc.edu.co

Adriana Sánchez Ruiz

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-6237-6519>

✉ adriana.sanchez04@usc.edu.co

Resumen

Introducción: Las técnicas instrumentales en fisioterapia respiratoria se clasifican en las de desobstrucción bronquial y las de reexpansión pulmonar; las cuales facilitan a través de herramientas tecnológicas que el paciente complemente los procesos de la intervención desde la fisioterapia pulmonar. **Materiales y métodos:** Se realizó una búsqueda bibliográfica de libros, de artículos científicos de tipo explicativos, analíticos y experimentales, revisiones bibliográficas con el término de búsqueda, técnicas instrumentales en fisioterapia, en las bases de datos: Scielo, Science Direct, Elsevier, entre los años

Cita este capítulo / Cite this chapter

Quinayás Otaya JR, Cantoñi Banguero LY, Chavarro Aaron LV, Sánchez Ruiz A. Técnicas Instrumentales de fisioterapia respiratoria. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 189-222.

de 2011 y 2021. **Resultados:** Se describen las técnicas instrumentales de desobstrucción bronquial que incluyen los dispositivos flutter, acapella, máscara PEP, RC-Cornet, Thera PEP, cough assist y el chaleco vibratorio y las de expansión pulmonar en donde se encuentra el inspirómetro de incentivo. **Conclusión:** Las técnicas instrumentales de fisioterapia respiratoria favorecen el mantenimiento de la vía aérea permeable a través de la higiene bronquial, también, ayudan a mantener y mejorar los volúmenes y capacidades pulmonares.

Palabras clave: servicio de fisioterapia en hospital, modalidades de fisioterapia, ejercicios respiratorios, obstrucción, vías aéreas.

Abstract

Introduction: Instrumental techniques in respiratory physiotherapy are classified into bronchial clearance and pulmonary re-expansion techniques, facilitating through technological tools that the patient complements the processes of the intervention from pulmonary physiotherapy. **Materials and methods:** A bibliographic search of books, explanatory, analytical and experimental scientific articles, and bibliographic reviews was carried out in the following databases: Scielo, Science Direct, Elsevier, between 2011 and 2021, in relation to instrumental techniques. **Results:** The instrumental techniques of bronchial clearance are described, including flutter devices, acapella, PEP mask, RC-Cornet, Thera PEP, cough assist and vibrating vest, and those of lung expansion where the incentive inspirrometer is found. **Conclusion:** The instrumental techniques of respiratory physiotherapy favor the maintenance of a permeable airway through bronchial hygiene, and also help to maintain and improve lung volumes and capacities.

Keywords: physical therapy department, hospital, physical therapy modalities, breathing exercises, obstruction, airways.

Introducción

La fisioterapia respiratoria es una intervención terapéutica encaminada a la prevención y tratamiento de alteraciones respiratorias, que involucra diversas técnicas tanto manuales como instrumentales, dirigidas a la eliminación de secreciones de la vía respiratoria y mejoría de la ventilación pulmonar, así como de la optimización del intercambio gaseoso (1). Este capítulo está dedicado a la recopilación de las técnicas instrumentales en fisioterapia respiratoria más utilizadas en la práctica clínica, por lo cual se considera importante iniciar definiéndolas como un conjunto de estrategias y/o métodos de tipo terapéutico que complementan la intervención de las técnicas no instrumentales (2).

En las últimas décadas se ha venido recomendado en consensos, estudios e investigaciones el uso de las técnicas instrumentales dentro de la fisioterapia respiratoria; esto, con el fin de proporcionar en el paciente estrategias de facilitación y/o estimulación para influir en el manejo de la respectiva alteración de tipo respiratoria, así como independencia; sin embargo, se hace necesario de manera frecuente que el paciente o usuario logre tener un dominio de su flujo espiratorio, con el fin de generar un uso óptimo de los diferentes dispositivos.

El impacto de este tipo de técnicas de apoyo instrumental dentro de la fisioterapia respiratoria, tiende a incurrir en numerosas áreas, dentro de las cuales se pueden identificar principalmente la desobstrucción o drenaje bronquial, la expansión pulmonar, y el entrenamiento muscular respiratorio (2).

Las técnicas instrumentales direccionadas a la desobstrucción bronquial pueden influir bien sea en la actividad tensional del transporte como soporte en la expansión pulmonar e hiperventilación, en el transporte de tipo mucociliar, debido a las vibraciones parietales externas o internas en las vías respiratorias superiores, y en el flujo de tipo bifásico, es decir, se realiza asistencia instrumental espiratoria por medio de presiones negativas y humidificadores; algunos de

los dispositivos de los cuales se realizará una descripción dentro del presente documento son: Flutter, acapella, máscara PEP, RC-Cornet, Thera PEP, cough assist y el chaleco vibratorio (3).

El segundo grupo de técnicas instrumentales a desarrollar está denominado técnicas de expansión pulmonar, las cuales pueden emplearse en presencia de inestabilidad de tipo respiratorio que incluya alguna de las unidades de este sistema, por ejemplo, alteraciones de tipo tensioactivo que generan cierre en las vías respiratorias, lo cual repercute directamente en una reducción significativa de la capacidad residual funcional y se describirán dispositivos como el inspirómetro de incentivo (3).

Técnicas instrumentales de desobstrucción bronquial

Estas técnicas son un conjunto de estrategias terapéuticas que pueden influir en la alteración de la fisiología del sistema respiratorio a la cual se tiene un difícil acceso por medio de estrategias de carácter manual; su objetivo está ligado directamente al aclaramiento de las secreciones o desobstrucción bronquial, como su nombre lo indica, y su mecanismo de acción está basado en la oscilación de un flujo espiratorio e incremento de las presiones, ya sean positivas o negativas, en la vía aérea; esto, por aplicación de vibraciones o de presión positiva continua o intermitente por medio de distintos dispositivos o instrumentos. Es importante aclarar que estas técnicas pueden ser empleadas de modo individual, o como complemento de una estrategia o plan de intervención fisioterapéutico en el ámbito respiratorio (4).

La eficacia de los dispositivos pertenecientes a este grupo de técnicas instrumentales dependerá de manera significativa y predominante en el correcto uso o empleo de los mismos; por tal motivo, se establece de manera imperativa la importancia de recibir una serie de instrucciones por parte de un fisioterapeuta o el profesional de salud encargado del área respiratoria, sobre la técnica de uso y el control respiratorio que se deba mantener al hacer uso de los mismos.

Estos dispositivos se utilizan en la fase espiratoria de la respiración y la técnica deberá estar direccionada en relación con la cantidad de secreciones que se encuentren obstruyendo la vía respiratoria del paciente o usuario; se debe tener en cuenta que, por las razones anteriormente descritas, el grado de conocimiento y formación del fisioterapeuta también podrá influir en el correcto tratamiento y utilización de estos dispositivos.

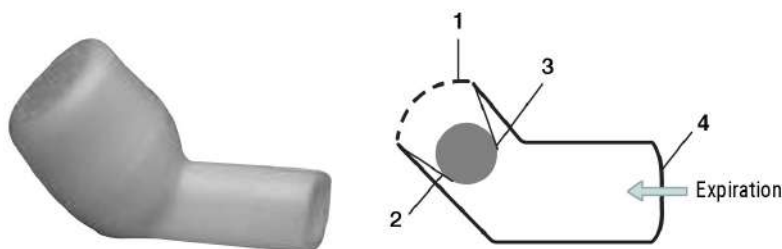
La literatura actual, no establece un registro específico de idoneidad con relación a una técnica de manera superior a la otra, por lo tanto, se realizan recomendaciones de selección de la técnica apropiada según las características y necesidades propias del paciente, tales como autonomía, adherencia o preferencia; para esta labor, es pertinente que el fisioterapeuta respiratorio realice un análisis y reconocimiento de las causas y la incapacidad para manejar las secreciones bronquiales(4).

A continuación, se describen los diferentes dispositivos instrumentales de presión positiva espiratoria oscilante y no oscilante.

Dispositivos PEP oscilantes

Flutter espiratorio

El flutter es un dispositivo de tamaño pequeño el cual posee externamente una boquilla plástica, tiene una forma de pipa con un cono interior y una esfera de acero inoxidable o de alta densidad, esta cumple la función de interrumpir de modo interno la constante de flujo de aire espirado, proporcionando de este modo una combinación de presión espiratoria positiva (PEP) con vibración de alta frecuencia; gracias a estas propiedades se logra identificar importantes beneficios tales como mejoras en la ventilación colateral, las cuales favorecen la migración de las secreciones a las vías respiratorias proximales (figura 73) (5).

Figura 73. Flutter.

Fuente: Revue des Maladies Respiratoires (4) 2012.

Modo de operación

Este dispositivo cuenta con una serie de principios físicos como adyuvantes en el proceso de separación del moco de las paredes de la vía aérea, los cuales se pueden describir como:

- Capacidad del dispositivo para generar vibración a nivel intraluminar.
- Incremento intermitente de la presión a nivel endobronquial.
- Aceleración del flujo espiratorio.

Al llevarse a cabo la combinación de estos tres principios o efectos físicos se estimula la movilización de las secreciones; de este modo, se promueve un desplazamiento ascendente de la secreción por medio de las vías respiratorias, facilitando su eliminación.

Estos efectos, actúan antes de una exhalación, en la fase espiratoria del ciclo ventilatorio; durante la espiración, la esfera de acero se posiciona en el canal cónico del flutter estableciendo un bloqueo como resultado del equilibrio entre la presión y el aire espirado, la fuerza de gravedad se ejerce sobre la bola y el ángulo del cono. De este modo, el contacto de la esfera con la superficie de las paredes del dispositivo

propicia un ciclo de apertura y cierre el cual se repite constantemente mediante cada espiración (6).

Los beneficios que se obtienen a partir del uso de este dispositivo, se deben principalmente a las oscilaciones que se generan en el transcurso de la fase espiratoria; estas incrementan tanto la presión, como la velocidad del flujo de aire circulante en el sistema. La vibración se produce cuando la frecuencia oscilatoria establece proximidad con la frecuencia de resonancia del sistema pulmonar, amplificando las oscilaciones a nivel endobronquial; estas vibraciones estimulan el desprendimiento de las secreciones de las paredes del tracto respiratorio (5).

Cuando la presión endobronquial aumenta de manera intermitente, se disminuye en un porcentaje significativo la tendencia al colapso dinámico en las vías aéreas durante la fase de exhalación, lo cual provoca un aumento en la probabilidad de expulsión de secreciones del segmento traqueobronquial.

Por medio de la aceleración del flujo, se aumenta la velocidad del aire que espira el paciente, y esto facilita el movimiento de la secreción hacia los segmentos proximales, de este modo, el flutter genera una frecuencia oscilatoria en un rango entre 6 y 20 Hertz, este rango corresponde a las frecuencias pulmonares de resonancia en el cuerpo de un ser humano; la efectividad en la utilización de este dispositivo se encuentra entonces, directamente relacionada con la obtención o alcance de frecuencias dentro de este rango.

Múltiples factores pueden influir en la frecuencia de resonancia pulmonar; por ende, la frecuencia de cada paciente puede ser diferente, pues dependerá, por ejemplo, de la capacidad vital, capacidad pulmonar total y el nivel de obstrucción presente en las vías aéreas. Las variaciones en la presión se amplifican una vez la frecuencia de resonancia del sistema pulmonar es alcanzada, al unir estas vibraciones generadas con el incremento en la velocidad, por medio de la cual circula el aire y el aumento de la presión espiratoria, se propicia la separación y/o desprendimiento de las secreciones (4).

Indicaciones

Dentro de las principales indicaciones se encuentran: enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), asma, fibrosis quística, bronquiectasias no asociadas a fibrosis quística, atelectasia obstructiva, entre otras condiciones y/o alteraciones, en las cuales se produce retención de secreciones u obstrucción por medio de las mismas.

Contraindicaciones

Debido a la presencia del incremento en la presión durante la fase espiratoria al llevar a cabo el uso de esta técnica, se establece una serie de contraindicaciones, las principales son: neumotórax, hemoptisis, y estados hemodinámicos marginales, fracturas o cirugías faciales.

Además, se debe prestar especial atención y tener precaución con la esfera de acero, en caso de que el dispositivo esté desarmado, puesto que esta podría ser bronco aspirada de manera accidental (5).

Descripción de la técnica de utilización.

Para que la técnica se lleve a cabo de manera efectiva, esta comprende su realización por medio de dos etapas, la primera relacionada con el desprendimiento de secreciones y la segunda con la eliminación de las mismas.

Etapas 1: Desprendimiento de secreciones

- El paciente, se debe encontrar sentado de manera cómoda, en esta posición entonces, sostendrá el dispositivo en forma horizontal, lo cual permite que el aire espirado fluya suavemente desde un espacio intrapulmonar, hacia un espacio extrapulmonar a través del flutter.
- Es importante tener en cuenta el ángulo en el cual el paciente sostiene el dispositivo, es fundamental para el éxito de la aplicación de la técnica; en primera instancia, se debe sostener de tal forma que queda en una posición paralela al suelo; la frecuencia

de oscilación producida por el dispositivo cuando su vástago está en posición horizontal es de aproximadamente 15 Hertz. Al cambiar la inclinación del flutter esta frecuencia puede ser modulada; partiendo de la posición horizontal, al inclinar el dispositivo hacia arriba, disminuye la frecuencia; al inclinarlo hacia abajo, la frecuencia aumenta. Estos ajustes al dispositivo con relación a frecuencia y resonancia pueden ser realizados por el paciente cuando selecciona la inclinación del ángulo para mejorar la transmisión de las vibraciones en las vías aéreas.

- Después de identificar el ángulo, se pide al paciente realizar una inhalación lenta, aproximadamente tres cuartos de una respiración completa, realizando al final de cada inhalación una apnea entre dos y tres segundos, para optimizar la distribución del gas que está siendo inspirado sobre las vías aéreas; seguidamente, se le indica al paciente posicionar el flutter en la boca con los labios cerrados firmemente alrededor del vástago, verificando la ausencia de escapes o fugas alrededor de los mismos.
- El paciente debe espirar a través del dispositivo a una velocidad razonablemente rápida, pero no demasiado vigorosa. Además, se proporcionan instrucciones para apretar las mejillas y así impedir que la presión se disipe en la cavidad oral; es necesario que el paciente esté concentrado en la sensación de vibración de las vías aéreas y procure que el reflejo de tos sea suprimido.
- Para finalizar esta etapa, se le indica al paciente que espire todo el aire contenido en sus pulmones, independientemente de la sensación de presión que experimente; este ciclo de ejercicio se repite entre cinco a diez respiraciones con el objetivo de desprender la mayor cantidad de secreciones posibles, las cuales se desplazan de manera progresiva, desde las vías periféricas hacia las vías proximales con cada espiración a través del dispositivo.

Etapas 2: Desprendimiento de secreciones

- Se dan indicaciones al paciente para que realice inspiración lentamente pero tan completa como pueda, es decir, ya no a tres

cuartos de su capacidad sino al 100%, seguida por un periodo de apnea de dos a tres segundos.

- Por último, el paciente debe espirar de manera rápida a través del flutter con el fin de movilizar las secreciones de manera proximal activando el reflejo de tos, si las secreciones no se expectoran de manera efectiva, se deberá recurrir al uso de la maniobra de Huff o carraspeo.

Cuidados del dispositivo

El flutter es un dispositivo de uso estricto y únicamente personal, no obstante, es importante tener en cuenta que después de cada sesión debe ser limpiado y/o desinfectado en una solución de jabón o detergente suave para eliminar la humedad, las secreciones, o la proliferación de agentes patógenos.

Todos los componentes se deben desarmar y limpiar con agua y posterior a esto, se puede proceder a realizar el proceso de secado utilizando una toalla limpia para tal fin (5).

Acapella

El acapella comparte los principios funcionales y fisiológicos del ya anteriormente descrito flutter. Es un dispositivo que utiliza dentro de su mecanismo de acción una combinación entre la PEP y la vibración que se genera por la resistencia al flujo del aire espirado de manera intermitente; esto genera una acción de desprendimiento y desplazamiento de la mucosidad que pueda estar alojada en las paredes bronquiales, de este modo logra llevarlas hacia las vías aéreas proximales de calibre mayor.

Este dispositivo contiene en su interior una placa de contrapeso, que a su vez posee un imán, el cual tiene como función taponar una válvula espiratoria, la cual, al exhalar a través de ella por medio de una pieza bucal o máscara, hace que la placa imantada se desplace de modo intermitente, lo que provoca una serie de interrupciones constantes

del flujo espiratorio, por ende, crea como resultado efectos de PEP y oscilatorios o de vibración (Figura 74).

Figura 74. Acapella.



Fuente: KEYLAB medical. <https://www.keylabmedical.com/es/producto.php?name=Equipo-vibratorio-PEP-Acapella®-Choice&id=67>

Dentro de las características que diferencian este dispositivo del flutter se pueden identificar que el Acapella contiene un engranaje, el cual puede ser ajustado con relación a la resistencia en la espiración, y esto brinda la posibilidad de ser utilizado en cualquier posición o ángulo de preferencia.

Indicaciones

El uso de este dispositivo, como estrategia de intervención terapéutica, está indicado para pacientes que presenten alteraciones y/o patologías tales como la fibrosis quística, la enfermedad pulmonar obs-

tractiva crónica (EPOC), el asma y las enfermedades pulmonares que presentan problemas relacionados con la hipersecreción (7).

Contraindicaciones

Las principales contraindicaciones son: neumotórax, hemoptisis, y estados hemodinámicos marginales, fracturas o cirugías faciales, procesos de sinusitis u otitis.

Descripción de la técnica de utilización

Para el uso efectivo de este dispositivo, es necesario describir su técnica de empleo o utilización, la cual, coincide de manera estrecha con la descripción de la técnica del flutter descrita anteriormente; se basa entonces de manera principal en:

- Posicionarse en sedente con los codos apoyados cómodamente en una mesa.
- Ubicar la pieza bucal en la boca, generando un sello hermético bucal que deberá mantener durante la exhalación. Se puede recomendar el uso de clip nasal si así lo considera necesario el terapeuta; además, si se utiliza mascarilla, deberá estar ajustada y cómoda cubriendo la nariz y la boca
- Llevar a cabo respiración con patrón diafragmático, inhalación lenta, aproximadamente tres cuartos de una respiración completa.
- Realizar entre dos y tres segundos de pausa inspiratoria (recomendado), para optimizar la distribución del gas que está siendo inspirado sobre las vías aéreas.
- Exhalar de manera activa sin emplear espiración forzada, a través del dispositivo, la cual, debe durar aproximadamente de tres a cuatro veces más tiempo que la inhalación, es decir, una espiración lenta, a bajo flujo.
- Se deberá realizar entre 10-20 respiraciones, teniendo en cuenta los objetivos terapéuticos planteados.

- Al realizar el retiro de la pieza bucal o la mascarilla, se deberá realizar una técnica espiratoria forzada entre dos y tres veces para facilitar el ascenso de las secreciones a las vías principales. (7)

RC-Cornet

Es un dispositivo, cuyo nombre está relacionado con su forma, puesto que posee forma de cuerno; este, contiene una manguera de goma aplanada en su interior, que se encuentra conectada a una pieza bucal de tipo giratorio. Cuando se realiza una exhalación a través de la pieza bucal, la rotación de esta misma genera torsiones de tipo discontinuo en la manguera aplanada; estas distorsiones se traducen en interrupciones intermitentes de flujo espiratorio, las cuales a su vez causan oscilaciones provocando los mismos efectos que otros dispositivos como el Flutter y Acapella.

Este dispositivo es de uso terapéutico para las vías aéreas, el cual, entrega de manera simultánea presión espiratoria positiva (PEP) y oscilaciones de flujo aéreo hacia las estructuras pulmonares; al presentarse esta combinación de presiones y variaciones de flujo aéreo, se mejora la eliminación de secreciones y se contribuye en la estabilización de las vías aéreas (figura 75).

Figura 75. RC- Cornet



Fuente: Elaboración propia.

Indicaciones

El RC-Cornet puede aportar múltiples beneficios en pacientes que presenten mucosas con alteraciones y/o patologías que requieran de asistencia terapéutica para despejar las vías y trayectos respiratorios, dentro de las cuales se tienen en cuenta bronquiectasias, la fibrosis quística, la bronquitis de tipo deformante y el asma; también resulta útil en el tratamiento de desórdenes relacionados con la elasticidad pulmonar, como en el enfisema pulmonar con presencia de bronquitis; en alteraciones que presentan inestabilidad de las paredes bronquiales y/o de las membranas traqueales; también, ha demostrado beneficios como estrategia de tratamiento terapéutico pre-quirúrgica en el caso de operaciones pulmonares y en la disminución de la tos productiva en fumadores (8).

Contraindicaciones

El uso de este dispositivo como estrategia de intervención terapéutica está contraindicado en presencia de neumotórax y enfermedad cardiovascular no tratadas, así como hemoptisis, fracturas o cirugías faciales, procesos de sinusitis u otitis.

Descripción de la técnica de utilización

Las intervenciones de tipo terapéutico llevadas a cabo por medio de un dispositivo RC-Cornet son similares a las del Acapella con relación a su secuencia de uso; es necesario realizar una descripción oportuna y clara al paciente de la técnica a implementar, la cual se caracteriza entonces por:

- Tomar el dispositivo en la posición inicial (es decir, la ranura de la boquilla deberá coincidir con la flecha) en los labios ubicándolo por delante de los dientes sin realizar ningún tipo de mordedura.
- Se debe iniciar realizando una inhalación lenta, aproximadamente a tres cuartos de una respiración completa.

- De manera seguida, se efectuará una pausa inspiratoria preferiblemente de mínimo tres segundos, esto, con el fin de optimizar la distribución sobre las vías aéreas.
- Se finaliza entonces la secuencia con una espiración a bajo flujo del aire contenido en los pulmones (8).

Dispositivos PEP no oscilantes

Máscara PEP

Para ahondar en la descripción de la máscara PEP, es imperativo presentar de manera introductoria las definiciones y mecanismos de acción de la PEP (presión espiratoria positiva). La PEP es una técnica empleada en la fisioterapia respiratoria por medio de la cual se hace uso de presión positiva en la vía aérea del paciente; su mecanismo de acción está basado en provocar un incremento de la presión intrabronquial, de este modo, se aumenta la ventilación colateral y se estimula la movilización y desprendimiento de las secreciones presentes en las vías aéreas periféricas. La PEP entonces, utiliza dispositivos como una máscara o boquilla y una válvula de una vía antirreflujo, la cual genera una resistencia y va conectada a un tubo de espiración (5).

Este dispositivo proporciona una resistencia al flujo, se desarrolló a finales de la década de los setenta en Dinamarca. Es una máscara o una boquilla en algunos modelos, que se encuentra equipada con una válvula inspiratoria de tipo unidireccional y una resistencia fija con forma de fuga espiratoria, la cual se calibra mediante un manómetro; a medida que el paciente realiza el periodo de exhalación, genera presión positiva, la cual dependerá del flujo espiratorio y del dinamómetro de la fuga espiratoria anteriormente mencionados.

Se pueden clasificar teniendo en cuenta la intensidad de la presión generada: De baja presión, aquellos que generan $<20 \text{ cmH}_2\text{O}$; y de alta presión, aquellos que producen $> 20 \text{ cmH}_2\text{O}$). Cuando el paciente rea-

liza una exhalación forzada por resistencia puede generar presiones de hasta 100 CmH₂O (figura 76).

Figura 76. Máscara PEP.



Fuente: <https://www.homefisioms.com.br/suporte-mascara-borda-inflavel-e-velcro-tam-unico->

Resistencia umbral

Algunos dispositivos pueden producir una presión positiva cuando la presión que genera el paciente excede la resistencia opuesta.

Indicaciones

Las indicaciones se encuentran direccionadas principalmente hacia afecciones que presentan hipersecreción con una viscosidad significativa de las secreciones; y en las atelectasias pulmonares, principalmente durante la fase aguda de la enfermedad.

Contraindicaciones

Las principales contraindicaciones a tener en cuenta para no emplear este dispositivo están relacionadas con fracturas faciales y/o cirugía

facial, vías aéreas con hiperreactividad (es decir, accesos de tos), procesos infecciosos confirmados o sospecha de ellos como sinusitis y otitis, neumotórax sin inicio de tratamiento y hemoptisis.

Precauciones

Cuando se reduce el tiempo de realización, se puede evitar la obtención de los objetivos terapéuticos iniciales (6).

Descripción de la técnica de utilización

Para realizar la intervención mediante esta técnica, se debe iniciar su ejecución con ejercicios respiratorios, relajando la región abdominal. Al implementar la respiración a través del dispositivo, esta debe ser activa, no requiere tanto esfuerzo como una prueba de función pulmonar.

- Posicionar la máscara o boquilla, con la fijación a nivel de la nariz para mantener un cierre hermético, y exhalar a través de la resistencia al flujo para mantener la presión adecuada (esta es indicada por medio de un captador). Idealmente, esta operación deberá repetirse aproximadamente 15 veces.
- Seguidamente, se deberá iniciar la maniobra de “soplar” como si se tratara de empañar un vidrio o espejo, es decir, de hacer niebla con la respiración; esto con el fin de utilizar los movimientos respiratorios para eliminar las secreciones presentes que obstruyen las vías respiratorias, de este modo poder expulsarlas. Repetir esta actividad alrededor de cinco o seis veces; se recomienda el uso de presiones entre 10-20 CmH₂O.
- Esta técnica en conjunto se debe realizar aproximadamente durante cinco a quince respiraciones y deberá estar seguida por una espiración forzada acompañada de tos espontánea. El tiempo total de la intervención deberá oscilar entre 10 y 30 minutos durante cada período (9,10).

PIPEP

Este dispositivo es la versión actualizada de la máscara PEP; consta de una mascarilla naso bucal, con dos válvulas que generan resistencia al flujo, una inspiratoria y otra espiratoria. El nivel de presión dependerá del flujo aéreo que se produzca para vencer la resistencia que se ha instaurado en el dispositivo, así como el diámetro de la válvula espiratoria, la cual tiene un rango que oscila entre 1,5-5,0 mm, por tanto, se aconseja controlar la presión con un manómetro, para alcanzar entre 8-12 CmH₂O.

Las indicaciones y contraindicaciones son las mismas que la máscara PEP, descritas anteriormente (9,10).

Thera PEP

Se ha logrado identificar que sistemas de PEP de tipo Pi-Pep y Thera-PEP, poseen un funcionamiento el cual se base en un principio particular; este consiste en la implementación de una resistencia al flujo espiratorio.

El objetivo principal es provocar una presión positiva al interior de las vías aéreas, es decir, una presión de tipo intrapulmonar, que va a aumentar dependiendo de cuan mayor sea el grado de resistencia producida por el dispositivo. El aumento de la presión positiva puede ser ocasionado debido al cierre temprano de las vías aéreas durante la fase espiratoria, originando como consecuencia una fase espiratoria de una mayor duración; esta fase aumentada, incrementa a su vez el volumen de reserva espiratorio, a través de este mecanismo se logra reclutar las regiones alveolares colapsadas. Lo anteriormente descrito, facilita la creación de flujos espiratorios elevados y prolongarlos a través de un método seguro (9,10).

El Thera-PEP es uno de los dispositivos que se utilizan para brindar una estrategia terapéutica con presión positiva de manera segura, además, es utilizada como una alternativa o técnica suplementaria

para estimular el desplazamiento de secreciones bronquiales en pacientes con FQ, bronquiectasias y bronquitis crónica. Al emplear esta estrategia, se pueden generar una serie de beneficios directamente relacionados con mejorías en el manejo de secreciones, gracias al desprendimiento de las mismas en las paredes de las estructuras que conforman la vía aérea, y esto, como consecuencia del incremento de la presión en fase espiratoria.

La presión positiva que se genera durante la intervención terapéutica permite entonces el reclutamiento de estructuras ventilatorias y promueve la apertura de vías aéreas (figura 77).

Figura 77. Thera PEP.



Fuente: <https://www.fisiomarket.com/es/33186-sistema-de-tratamiento-de-pep-therapep.html>

Indicaciones

Se recomienda el uso de este tipo de dispositivos en alteraciones y/o patologías en las cuales haya presencia de hipersecreción; está indicado de manera específica también en la fibrosis quística, las bronquiectasias e incluso las bronquitis crónicas.

Contraindicaciones

Las contraindicaciones están direccionadas a situaciones como la intolerancia debido a incremento en el trabajo respiratorio, como crisis asmática o EPOC, presencia de ruptura timpánica comprobada o sospecha de esta, cirugía a nivel del esófago o de la vía aérea, cirugías a nivel facial, oral o en el cráneo; presencia de barotrauma no tratado; presión intracraneal $>20\text{mmHg}$; inestabilidad hemodinámica; procesos infecciosos como sinusitis; presencia de epistaxis; hemoptisis y náuseas (9,10).

Descripción de la técnica de utilización

Se requiere seguir una serie de pasos para llevar a cabo un procedimiento efectivo, oportuno y claro en la realización de la estrategia terapéutica haciendo uso del dispositivo Thera PEP, el cual contempla:

- Realizar una explicación clara y entendible del procedimiento para el paciente.
- Llevar a cabo el proceso de ensamblado del dispositivo.
- Poner al paciente en posición sedente, con los codos apoyados sobre la mesa.
- Seleccionar el orificio fijo más grande.
- Incentivar en el paciente a un estado de relajación.
- Seguidamente, se le debe pedir al paciente realizar una inspiración de patrón diafragmático, la cual supere el volumen corriente, a través del dispositivo.
- El paciente debe ejecutar una pausa inspiratoria de 3 segundos.
- Pedir al paciente que haga una espiración a través del resistor espiratorio hasta el nivel de su capacidad residual funcional (CFR).
- Se deben realizar entre 10 y 20 repeticiones en una serie (9,10).

Aspectos a tener en cuenta:

- La fase de espiración debe ser activa, sin embargo, es importante especificar que esta, no debe ser forzada.
- Se debe corroborar que el manómetro se encuentre entre 10 a 20 CmH_2O durante la mayor parte de la fase espiratoria.
- Se debe realizar, cuando sea necesario, un ajuste al orificio fijo para alcanzar una relación inspiración-espiración de uno a tres, mientras se mantiene el nivel deseado.
- Ser precisos en la selección del orificio, pues si este es muy grande, provocará una fase espiratoria muy corta, y, por ende, no se alcanzará el nivel deseado; si, por otra parte, el orificio es de un tamaño muy reducido, la fase espiratoria será prolongada, y esto, ocasionará un incremento del trabajo respiratorio y del riesgo de atrapamiento de aire.

Una vez se haya retirado el dispositivo, deben ser realizadas varias maniobras espiratorias de tipo forzadas, como el “huff” para facilitar la expulsión de las secreciones movilizadas. La serie de 10-20 respiraciones con PPE seguido del huff, debe ser ejecutada entre cuatro y seis veces en cada sesión de intervención; las sesiones pueden durar de 10 a 20 minutos y deben ser realizadas de una a cuatro veces por día.

Es importante tener en cuenta que, si el paciente no refleja ninguna mejoría significativa después de 20 minutos de terapia con el Thera PEP, será preferible aumentar el número de sesiones por día, en lugar de prolongar el tiempo de la sesión, ya que ejecutar esta técnica por más de 20 minutos puede ocasionar situaciones de molestia e incomodidad (9,10).

Cuidados del dispositivo

Para realizar un adecuado proceso de limpieza se deben seguir las indicaciones establecidas por el personal de salud que prescribe el dispositivo, se debe tener en cuenta limpiarlo cuando se vea demasiado

sucio, o bien, si se utiliza con un nebulizador deberá realizarse limpieza del mismo, de manera posterior a cada sesión de tratamiento.

La limpieza se realiza de la siguiente manera:

- Se debe desmontar el dispositivo, ubicando seguidamente todas las piezas en un recipiente con agua tibia con jabón durante cinco minutos, a excepción del tubo y el indicador azul.
- Enjuague con abundante agua todas las partes del dispositivo, y se depositan en un recipiente con suficiente alcohol para cubrir el Thera PEP durante cinco minutos.
- Pasado el tiempo indicado, se debe sacar el dispositivo del alcohol y enjuagarlo con agua estéril (no se debe usar agua de la llave, ni agua embotellada).
- Para finalizar, se deberá posicionar todas las partes sobre una toalla de papel y permitir que se sequen para ensamblar las partes de manera posterior (9,10).

Cough – Assist

Las técnicas instrumentales respiratorias están basadas principalmente en la aplicación de vibraciones o emplean presión espiratoria positiva (PEP) oscilante o continua, por medio de distintos dispositivos, de los cuales, algunos han sido descritos anteriormente. Sin embargo, el dispositivo Cough-Assist no se fundamenta en los principios de estas técnicas (figura 78). La escasa literatura publicada acerca de este tipo de técnicas actualmente establece que no se ha evidenciado estar indicado el Cough-Assist en fibrosis quística; y al menos un estudio en pacientes con alteraciones patológicas como la EPOC mostraron una reducción en el flujo de tos, cuando se utiliza el dispositivo Cough assist al compararlo con la tos manual.

Figura 78. Cough-Assist.



Fuente: <https://es.bimedis.com/respironics-cough-assist-ca-3000-m412850>

En este dispositivo, un insuflador- exuflador mecánico (IEM) produce insuflación profunda cuya presión es de tipo positiva equivalente a 30–50 CmH_2O ; posteriormente se realiza una exuflación profunda, ésta, por el contrario, es una presión negativa de 30–50 CmH_2O ; tanto las presiones como los tiempos de aplicación del dispositivo son ajustables de modo independiente.

Los ciclos del Cough Assist pueden ser automáticos o manuales, cada uno cuenta con sus características propias; los ciclos manuales, por ejemplo, facilitan la coordinación entre el paciente y el profesional, realizando un trabajo de inspiración/ espiración a través de la insuflación/ exuflación por medio del dispositivo, no obstante, requiere de ayuda adicional para generar compresión en la caja torácica, fijar y mantener la mascarilla e incluso regular la máquina (12).

Descripción de la técnica de utilización

- Se considera recomendable hacer uso de tiempos inspiratorios de dos segundos, y tiempos espiratorios para una buena correlación entre la presión empleada y el flujo obtenido.

- Se debe repetir la técnica hasta el momento en el cual cese la expectoración de secreciones y los valores de saturación de oxígeno causados por obstrucción debido a la presencia de secreciones, se restablezcan a valores típicos.
- En promedio, no se requiere el uso de fármacos para garantizar la eficacia de los IEM.
- Cuando se emplea en pacientes con alteraciones y/o patologías de tipo neuromuscular, permite la fluidificación del esputo, lo cual favorece la exuflación y eliminación de las mismas, puede mejorar la exuflación cuando las secreciones son espesas.

Contraindicaciones

En la literatura reportada se especifica y clarifican algunas situaciones y/o condiciones en las cuales puede ser de alto riesgo hacer uso de este dispositivo, como la presencia de barotrauma, presencia de bullas y alteraciones de tipo enfisematosas o hiperreactividad bronquial; el desprendimiento de suturas tras las cirugías de pared torácica no ha sido confirmado dentro de este grupo, se recomendando prestar especial atención y precaución para determinar qué tan beneficiosa o riesgosa puede ser la intervención por medio de este dispositivo (12).

Dispositivos externos de oscilación-compresión de alta frecuencia

Chaleco vibratorio

El chaleco vibratorio hace parte de aquellos dispositivos extratorácicos de tipo oscilatorios, los cuales en su accionar llevan a cabo una serie de vibraciones con frecuencias e intensidades que pueden ser reguladas según las consideraciones del terapeuta, esto, para garantizar objetivos definidos de tratamiento sin dejar de un lado la comodidad del paciente.

Este dispositivo, cuenta con un precursor acústico que efectúa vibraciones a nivel del tracto traqueo bronquial humano, las cuales pueden estar en un rango de 5 a 1200 Hz; estas vibraciones se generan directamente dentro de las vías aéreas del sistema respiratorio y las secreciones; además, debido al diseño de la boquilla, la cual incluye dos orificios pequeños que brindan resistencia a la exhalación, se incorpora una presión espiratoria positiva (PEP) (figura 79).

Figura 79. Chaleco vibratorio.



Fuente: https://lsc-pagepro.mydigitalpublication.com/publication/?i=645528&article_id=3560871&view=articleBrowser&ver=html5

Modo de operación

El mecanismo de operación se basa en la aplicación de una serie de ondas sonoras a distintas frecuencias durante aproximadamente diez minutos (establecido como protocolo de tratamiento), mientras el paciente lleva a cabo su proceso de respiración; de este modo, se genera un impacto directamente en las vías intrapulmonares del sistema respiratorio, dichas vibraciones se dan mediante un fenómeno denominado resonancia simpática, la cual, es similar al efecto de vibraciones que se generan en las ventanas de una casa

cuando se presenta un sistema de música estéreo a altos volúmenes acústicos.

Por esta razón, se plantea que el aumento de la expectoración de secreciones y/o esputo es consecuencia directa de las ondas sonoras que impactan generando vibraciones entre el límite de la secreción y la superficie del tracto respiratorio a la cual se pueda encontrar adherida, esto, sin necesidad de generar vibraciones en toda la superficie corporal; algunos chalecos vibratorios generan una gama de frecuencias vibratorias variantes, que aumentan progresivamente a lo largo de la sesión de tratamiento, es decir, se aplican una técnica de frecuencia secuencial escalonada.

Por medio de este tipo de frecuencias escalonadas, se acopla la teoría acústica, en la cual se especifica que entre más pequeño es el tubo o cilindro (en este caso, se haría referencia al segmento de la vía aérea), se debe aplicar una mayor frecuencia para que de este modo, se permita una vibración en la frecuencia de resonancia.

Gran parte de las configuraciones de este dispositivo constan de un conjunto de pulsos o vibraciones de baja frecuencia cuando se requieren en vías respiratorias proximales o de gran diámetro; y las frecuencias en conjuntos de pulsos o vibraciones de tonos más altos cuando se requieren en vías respiratorias de pequeño diámetro, es decir, más distales y periféricas; para que estas acciones se lleven a cabo de manera efectiva.

La incorporación de la PEP se utiliza para realizar una ligera dilatación de las vías aéreas respiratorias durante el periodo espiratorio, de este modo, se estimula la expectoración y contribuye en la prevención del colapso en las vías respiratorias (13).

Indicaciones

1. Pacientes con retención de secreciones y dificultad para una expectoración eficaz.

2. Pacientes mayores de dos años de edad, diagnosticados de patologías que requieran un sistema mecánico de aclaramiento mucociliar (fibrosis quística, bronquiectasias, trastorno neuromuscular crónico o antecedentes de neumonía) o cuando hayan fracasado otros métodos de limpieza pulmonar.

Contraindicaciones

- Situaciones de inestabilidad hemodinámica o hemorragia activa.
- Lesiones en cabeza, cuello y tórax recientes o inestables.
- Hemoptisis.
- Embolismo pulmonar.
- Neumotórax
- Empiema.
- Broncoespasmo
- Fracturas costales frecuentes, osteoporosis (14).

Descripción de la técnica de utilización

La programación del dispositivo debe buscar equilibrio entre confort y eficacia:

- **Frecuencia:** Puede oscilar entre 5 a 20 Hz. Se recomiendan frecuencias fijas o variables (estas últimas son más utilizadas) de 11 a 15 Hz para favorecer el batido ciliar.
- **Modos:** Normal (parámetros fijos) o combinado (variable en el tiempo de tratamiento).
- **Presión:** Entre una y diez unidades (5-20 CmH_2O). Se recomienda valores alrededor de cuatro a cinco unidades (12 CmH_2O). Tiempo de tratamiento: puede variar entre 15 y 30 minutos (14).

Dispositivos para la expansión pulmonar

Inspirómetro de incentivo

Es una técnica de mantenimiento de la expansión pulmonar que utiliza flujo y/o volumen a través de dispositivos que ofrecen un feedback visual o sonoro. La primera inspirometría de incentivo fue presentada por Bartlett en 1970; estos dispositivos son activados por esfuerzos inspiratorios, visualizados de diferentes formas, de acuerdo con el tipo de aparato utilizado.

Objetivos

- Aumentar la presión de tipo transpulmonar y los volúmenes inspiratorios.
- Estimular y optimizar el correcto funcionamiento de la musculatura inspiratoria.
- Mejor distribución de gases inspirados.
- Restablecer y/o contribuir en el proceso de establecimiento del patrón normal de hiperinflación pulmonar (suspiros y bostezos). (15)

Cuando el proceso de esta técnica se realiza de manera repetida y regular, puede influir en un mayor porcentaje en la prevención o reversión de las atelectasias pulmonares; el suspiro dentro de esta técnica se entiende como una inspiración realizada de manera lenta y profunda, seguida de una espiración del mismo modo.

Al realizar una insuflación máxima, se promueve la apertura de los alvéolos que se puedan encontrar parcial o completamente colapsados, venciendo de este modo aquellas fuerzas de tracción radial ejercidas sobre la superficie de los bronquios (por esta razón los suspiros se consideran fisiológicamente, como un reflejo iniciado en zonas de atelectasia) (15).

Uno de los beneficios fisiológicos adicionales que aporta este dispositivo, está relacionado con la ventilación colateral, entendida como aquel proceso mediante el cual se puede mantener la ventilación en unidades distales a la obstrucción de la vía aérea, gracias a una serie de comunicaciones entre diversas estructuras o conductos pulmonares.

Indicaciones

El uso de esta técnica como estrategia terapéutica, está directamente relacionada con aquellas condiciones que predisponen a la aparición de atelectasias como el reposo prolongado en cama, la cirugía torácica o abdominal, atelectasias y disfunción diafragmática de cualquier origen.

Contraindicaciones

Las contraindicaciones por su parte están dadas por aquellas alteraciones que pueden resultar en un mayor riesgo a la aplicación de este método, en pacientes que presenten tórax inestable, hemoptisis, alcalosis respiratoria, neumotórax no tratado, broncoespasmo, infarto agudo de miocardio o paciente con compromiso de su capacidad vital (15).

Estos dispositivos están disponibles en dos modelos: los de flujo y los de volumen.

Incentivo de flujo

El dispositivo denominado inspirómetro incentivador de flujo (IIF), (figura 80) está compuesto por tres compartimientos que se encuentran dispuestos y/o ubicados en serie, cada uno de estos compartimientos contiene un elemento esférico en su interior.

Cuando el paciente lleva a cabo el proceso de inspiración, se produce una presión de tipo negativo sobre la esfera; como resultado, esta se

eleva dentro del compartimiento; para lograr la elevación de cada una de las esferas, el paciente debe alcanzar de manera progresiva niveles específicos de flujo inspiratorio, los cuales serán cada vez mayores según las esferas a elevar; es decir, la primera esfera será entonces la más cómoda de elevar, mientras que la última será la más compleja (16).

Figura 80. Incentivo de flujo.



Fuente: Elaboración propia.

Este dispositivo se ha posicionado, por medio de su utilidad práctica como una técnica tan eficiente como las de fisioterapia de tórax tradicional o de presión intermitente; su mecanismo de acción se basa en generar un estímulo en el paciente que lo incite a llevar a cabo una inspiración máxima sostenida. Para realizar tal acción se considera necesario la utilización de músculos inspiratorios y participación activa del paciente.

Incentivo de volumen

El dispositivo denominado inspirómetro incentivador de volumen (IIV) (figura 81), se caracteriza por ser un elemento que se encuentra

compactado; a está compuesto por una válvula de tipo unidireccional cuya función principal es evitar que se genere exhalación en la unidad. El volumen inspiratorio que el paciente logra alcanzar es indicado por un émbolo deslizante; por su parte, el flujo inspirado se encuentra señalado por un marcador de pequeñas proporciones, de este modo, se guía al paciente en la realización de una inspiración lenta (16).

Figura 81. Incentivo de volumen.



Fuente: Elaboración propia.

Descripción de la técnica de utilización

- El paciente o usuario deberá posicionar la boquilla del dispositivo en sus labios realizando un cierre hermético.
- La boquilla debe estar conectada a una manguera corrugada que comunica en el otro extremo con una columna de presión, esta contiene un volumen de gas, el cual es determinado por la altura a la cual se encuentre posicionado el tubo de ambiente.
- Se debe solicitar al paciente una inspiración profunda, con el fin de promover el del volumen hacia las determinadas vías aéreas respiratorias; de manera simultánea se genera un ascenso del

estímulo que tapona el extremo inferior del tubo de ambiente, esto, ya que la columna de presión establece condiciones de tipo subatmosféricas.

- Deberá dársele instrucciones previas al paciente sobre la necesidad de sostener el estímulo en el extremo inferior del tubo de ambiente durante el mayor tiempo posible, de este modo se logra alcanzar los diferentes efectos y objetivos terapéuticos con mayor efectividad, que cuando se realizan acciones direccionadas en elevar y descender el estímulo muchas veces sin sostenerlo, esto no se considera una práctica recomendada, a pesar de su constante uso en las intervenciones. (16)

Conclusiones

Las técnicas instrumentales favorecen la limpieza de la vía aérea y la mejoría en la expansión pulmonar, convirtiéndose en un coadyuvante de la fisioterapia respiratoria manual, facilitando en pacientes con patologías crónicas un mayor cumplimiento de sus tratamientos, así como una mayor independencia.

Diferentes estudios han evidenciado su mecanismo de acción y beneficios principalmente en patologías como la fibrosis quística, por lo que se hace necesario generar más investigaciones que avalen su eficacia como estrategia de intervención terapéutica.

Referencias bibliográficas

1. Frownfelter D, Dean E. Cardiovascular and Pulmonary Physical Therapy - E- Book: Evidence to Practice. Elsevier Health Sciences; 2014. 833 p. [citado el 1 abril 2022] Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/cardiovascular-and-pulmonary-physical-therapy/frownfelter/978-0-323-05913-8>
2. Vandevenne A, Sergysels R, Ravez P, Worth H, De Coster A. Instrumentation support in respiratory kinesiotherapy. [citado el 1 abril 2022] Rev

- Mal Respir. 1988;5(5):463-89. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3055095/>
3. Neumannová K. Use of pulmonary rehabilitation in the treatment of decreased respiratory muscle strength. [citado 1 de abril de 2022] Cas Lek Cesk. 2015;154(2):72-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25994909/>
 4. Opdekamp C, Sergysels R. Respiratory physiotherapy in lung diseases. Revue Medicale de Bruxelles. 2003;24(4):A231-235 - Europe PMC [Internet]. [citado 4 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/14606285>
 5. Reyckler G, Coppens T, Leonard A, Palem A, Lebecque P. Mucoviscidose: les techniques instrumentales de désencombrement des voies aériennes. Rev Mal Respir [Internet]. 1 de febrero de 2012 [citado 4 de mayo de 2021];29(2):128-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2011.11.013>
 6. Van Winden CM, Visser A, Hop W, Sterk PJ, Beckers S, de Jongste JC. Effects of flutter and PEP mask physiotherapy on symptoms and lung function in children with cystic fibrosis. Eur Respir J. julio de 1998;12(1):143-7. DOI: <https://doi.org/10.1183/09031936.98.12010143>
 7. Keylab Medical Distribución de productos hospitalarios Inhaladores Nebulizadores [Internet]. [citado 4 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.keylabmedical.com/es/producto.php?name=Dispositivo-PEP-Acapella%C2%AE-Duet&id=68>
 8. Cornet - RC-Cornet - saludcontrol.com [Internet]. [citado 4 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.saludcontrol.com/p/fisioterapia-respiratoria/terapia-vibratoria/cornet>
 9. Postiaux G. Fisioterapia respiratoria en el niño Las técnicas de tratamiento guiadas por la auscultación pulmonar. Madrid (España): Mc Graw Hill; 2000.
 10. Alonso López J, Morant P. Fisioterapia respiratoria: indicaciones y técnica. An Pediatría Contin [Internet]. enero de 2004 [citado 21 de abril de 2021];2(5):303-6. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1696-2818\(04\)71661-3](https://doi.org/10.1016/s1696-2818(04)71661-3)

11. Mendes Martínez A, Vital de Carvalho E. Proposta do conteúdo a ser abordado em um manual sobre os cuidados respiratorios para pacientes com escleros lateral amiotrófica e seus cuidadores. 2005. Sao Paulo. Disponible en: <http://docplayer.com.br/16376699-Aline-mendes-martinez-eduardo-vital-de-carvalho.html>
12. Gómez Grande ML, González Bellido V, Olguin G, Rodríguez H. Manejo de las secreciones pulmonares en el paciente crítico. *Enferm Intensiva*. 2010;21(2):74–82. [Internet]. [citado 4 de mayo de 2021]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2009.10.003>
13. Patente Chaleco Terapia Respiratoria | UPB [Internet]. [citado 4 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.upb.edu.co/es/investigacion/experiencias/patentes/chaleco-terapia-respiratoria>
14. Manual SEPAR de Procedimientos 27. Técnicas manuales e instrumentales para el drenaje de secreciones [Internet]. Issuu. [citado 12 de mayo de 2021]. Disponible en: https://issuu.com/separ/docs/manual_27
15. Incentivador volumétrico: qué es y para qué se utiliza [Internet]. Clínica Cardiosalus. [citado 4 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://cardiosalus.com/article/incentivador-volumetrico-que-es-y-para-que-se-utilizar>
16. Lorenzo S. Eficacia de la espirometría incentivada tras cirugía torácica y abdominal. Una revisión sistemática [Internet]. Universidade da Coruña. [citado 11 de mayo de 2021]. Disponible en: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/18619/LorenzoMato_Silvia_TFG_2016.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Capítulo 7

Entrenamiento muscular respiratorio

Respiratory muscle training

Valeria Camayo Aranda

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-3787-0686>

✉ valeria.camayo00@usc.edu.co

Nathali Carvajal Tello

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <http://orcid.org/0000-0002-5930-7934>

✉ nathali.carvajal00@usc.edu.co

José Daniel Ríos Colorado

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-9084-2505>

✉ jose.rios01@usc.edu.co

Resumen

Introducción: El entrenamiento muscular respiratorio (EMR) es un método muy importante e indicado en los pacientes con compromiso cardiovascular pulmonar mejorando la fuerza y resistencia en los músculos respiratorios. Este capítulo tiene como objetivo mencionar las estrategias para su uso en áreas de hospitalización, rehabilitación pulmonar, e incluso, en la Unidad de Cuidado Intensivo (UCI), destacando el hecho que no se haya logrado hasta el momento que el EMR sea una práctica habitual en las UCI, sobre todo debido al desconocimiento de las posibilidades de este y las pocas guías publicadas. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica de artículos de diferentes tipos, descriptivos, analíticos, experimentales y cuasi ex-

Cita este capítulo / Cite this chapter

Camayo Aranda V, Ríos Colorado JD, Carvajal Tello N. Entrenamiento muscular respiratorio. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 223-268.

perimentales, estudios de casos y controles aleatorizados, revisiones bibliográficas, sistemáticas y metanálisis, en las bases de datos: ScienceDirect, Pedro, PubMed, Scielo, Springer entre los años 2011-2021, en relación al EMR. **Resultados:** Se reconocen las diferentes ventajas de su uso acompañado de fisioterapia respiratoria convencional para una mayor efectividad en el proceso de rehabilitación, mencionando a su vez diferentes condiciones clínicas y/o patológicas en las que se aplica el EMR. Por otro lado, en áreas deportivas se enfoca principalmente en la potencialización de la capacidad pulmonar en deportistas de alto rendimiento, mejorando su fuerza y resistencia. Se describen a su vez los diferentes dispositivos presentes en la actualidad para su uso en cada especialidad, incluyendo los métodos para evaluar la fuerza muscular respiratoria inicialmente. **Conclusiones:** La evidencia demuestra que el entrenamiento de la musculatura respiratoria puede mejorar significativamente la funcionalidad de los sistemas cardiorrespiratorio y circulatorio, además de mejorar la capacidad aeróbica, disminuir la disnea y facilitar el destete ventilatorio. No obstante, se requiere mayor investigación en esta área para una mejor aplicación de la estrategia rehabilitadora en diferentes contextos.

Palabras clave: fisioterapia, servicio de fisioterapia en hospital, ejercicios respiratorios, fuerza muscular, resistencia física, entrenamiento de resistencia, rehabilitación, pruebas de función respiratoria, unidades de cuidados intensivos, hospitalización, terapia respiratoria, músculos respiratorios, ejercicios respiratorios.

Abstract

Introduction: Respiratory Muscle Training (RMT) is a very important method as indicated in patients with pulmonary cardiovascular compromise, it improves the strength and resistance in the respiratory muscles. Our objective is to mention the strategies for its use in areas of hospitalization, pulmonary rehabilitation, even in the Intensive Care Unit (ICU), highlighting the fact that until now, RMT has not been a common practice in ICUs, primarily due to the

lack of knowledge of the possibilities of this practice and also due to the few published guides about this method. **Materials and methods:** A bibliographic review of descriptive, analytical, experimental and quasi-experimental type articles, randomized case-control studies, bibliographic reviews, systematic and meta-analyses was carried out in the following databases: ScienceDirect, Pedro, PubMed, Scielo, Springer between the years 2011-2021, in relation to RMT. **Results:** It is recognized the different advantages of its use accompanied by conventional respiratory physiotherapy for greater effectiveness in the rehabilitation process, taking into account the different clinical and / or pathological conditions in which the RMT is applied. On the other hand, in the sports areas it focuses mainly on the potentiation of lung capacity in high- performance athletes, improving their strength and endurance. In turn, the different devices currently present for use in each specialty are described, including methods to assess respiratory muscle strength before. **Conclusions:** Evidence shows that respiratory muscle training can significantly improve the functionality of the cardiorespiratory and circulatory systems, in addition to improving aerobic capacity, reducing dyspnea, and facilitating ventilatory weaning. However, more research is required in this area for a better application of the rehabilitation strategy in different contexts.

Keywords: physical therapy specialty, physical therapy department, hospital, breathing exercises, muscle strength, physical endurance, resistance training, rehabilitation, respiratory function tests, intensive care units, hospitalization, respiratory therapy, respiratory muscles, breathing exercises.

Introducción

El presente capítulo está enfocado en la caracterización del entrenamiento muscular respiratorio (EMR) y su importancia en las unidades de cuidado intensivo (UCI) así como en otros servicios del hospital, fundamentalmente en rehabilitación pulmonar y hospitalización.

También se describe la aplicación del EMR en contextos deportivos, y el rol del fisioterapeuta en la utilización de esta técnica. Así mismo, se plantean estrategias terapéuticas utilizadas para mejorar la fuerza y la resistencia muscular respiratoria en pacientes que usan ventilación mecánica (VM).

Por otro lado, con intención de caracterizar el contexto de aplicación de la técnica se desarrolla un marco teórico alrededor de los conceptos de disfunción, fatiga muscular, hospitalización en UCI y VM.

Además, se caracteriza el entrenamiento de músculos inspiratorios (EMI) como parte esencial del entrenamiento de los músculos respiratorios, el momento adecuado de aplicación y las principales variables que lo afectan. También se especifican y describen algunas condiciones clínicas y/o patológicas en las que se aplica el EMR como en el caso de la estancia en UCI, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el postoperatorio de cirugía cardíaca, entre otras patologías del sistema cardiovascular pulmonar.

Finalmente, se relacionan los métodos invasivos y no invasivos de evaluación de la fuerza y resistencia muscular respiratoria, así como los dispositivos de entrenamiento utilizados; entre los métodos no invasivos se destaca el balón esofágico, mientras que entre los métodos invasivos es importante mencionar el manovacuómetro y la ventilación voluntaria máxima. Con respecto a los dispositivos de entrenamiento se caracteriza la válvula Threshold IMT y el dispositivo de carga resistiva Power Breathe.

Conceptos y definiciones

Disfunción y fatiga muscular

La disfunción o debilidad muscular es una de las causas más comunes de consulta en atención primaria. Esta corresponde a la pérdida de la fuerza muscular, aunque el término tiende a asociarse al cansan-

cio global o a las limitaciones funcionales causadas por dolor o movilidad articular limitada, aun cuando la fuerza muscular es normal. Esta disfunción puede afectar solo algunos o muchos músculos y desarrollarse de manera gradual (1).

La debilidad muscular es el síntoma más frecuente en pacientes que presentan patología muscular; ésta normalmente es proximal haciendo difícil elevar los brazos, peinarse o cepillarse los dientes cuando afecta miembros superiores. La afectación de los miembros inferiores genera en cambio dificultad para levantarse de una silla o usar escaleras. La debilidad distal es una condición menos prevalente, afectando el manejo más especializado de artefactos como llaves, botones, entre otros. Por otro lado, la fatiga muscular corresponde a un síntoma que puede atribuirse a múltiples causas, sobre todo cuando la exploración neurológica resulta normal, y solo tiene un valor pronóstico importante si es muy pronunciada con respecto a la magnitud de la actividad realizada (2).

En el contexto de la función respiratoria la disfunción recae sobre los músculos respiratorios, esencialmente el diafragma, por lo que esta constituye un elemento clave en los mecanismos fisiopatológicos que generan dificultad para la retirada de la VM. Tanto la disfunción como la fatiga muscular son manifestaciones clínicas que limitan de manera importante la funcionalidad del individuo, de ahí la necesidad de caracterizarlas y reconocer las situaciones o contextos que favorecen la aparición de estas alteraciones, como por ejemplo la estancia en UCI.

Hospitalización en UCI y VM

Las consecuencias que trae la hospitalización de pacientes en UCI son variadas, muchas descritas desde décadas pasadas y que poco a poco, con la introducción de la investigación científica han podido revisarse y analizarse a luz de la evidencia empírica.

Anteriormente el enfoque natural era velar por la vida del paciente independientemente de las consecuencias y de la afectación de su ca-

lidad de vida posterior a las largas estancias en UCI; hoy en día se ha visto la necesidad de caracterizar y profundizar respecto del manejo de pacientes en UCI, analizar casos específicos, los procesos aplicados y el tiempo de estancia, entre otros factores (3).

Uno de los principales elementos a destacar corresponde al uso y aplicación de la VM necesaria para la atención de la mayoría de los pacientes en UCI, y en los que la disfunción y la fatiga muscular resultan ser efectos colaterales comunes. En ese sentido, se ha evidenciado que la fatiga muscular corresponde al producto del aumento del trabajo respiratorio, razón por la que no se logra un retiro eficiente de la VM en los pacientes. De hecho, en análisis realizados en animales se ha descrito una disminución sustancial del área transversal de las fibras musculares del principal músculo inspiratorio (diafragma), como consecuencia de una VM prolongada, algo que naturalmente ha contribuido a evitar el destete de la VM en pacientes (3).

En general, los datos indican que el fracaso del destete puede afectar hasta el 25% de los pacientes con VM en UCI. Además, el que una persona presente una disfunción diafragmática a causa de la VM genera complicaciones tales como la incapacidad de fuerza y potencia muscular, lo que hace aún más difícil el destete de oxígeno (4).

Las consecuencias de esta condición para la vida del paciente hacen imprescindible la creación de estrategias en las que pueda participar activamente el personal de salud ayudando al paciente y evitando un mayor deterioro de su condición clínica. Así, el entrenamiento de los músculos respiratorios surge como una estrategia para fortalecer la musculatura respiratoria, mejorar la disnea y facilitar un destete de oxígeno en el paciente de UCI, que se correlaciona con una recuperación más rápida, el mejoramiento en las condiciones de salud y de vida para el paciente, así como una disminución importante de los costos hospitalarios (4).

Entrenamiento Muscular Inspiratorio (EMI)

El EMI es una técnica indicada en pacientes críticos que están en UCI o aquellos que tienen cirugías relacionadas con el sistema pulmonar; es una de las medidas que ayuda a disminuir la progresión de la debilidad muscular inspiratoria, sobre todo cuando se quiere evitar que el paciente recaiga o llegue a usar VM. Alrededor del 64% de pacientes en UCI sufre de debilidad muscular pasadas las primeras 24 horas, mientras que el diámetro transversal de las fibras musculares resulta reducido en un 25% a los siete días (5). Permite, por tanto, que el paciente pueda mejorar su fuerza muscular y resistencia. Distintos estudios demuestran que el EMI tiene efectos positivos que pueden ir más allá del alta hospitalaria. (6)

Cuando se inicia con el entrenamiento de los músculos inspiratorios se hace con el fin de que el paciente tenga una mejor tolerancia a la realización del ejercicio y que progresivamente disminuya la sensación de disnea que presenta. La realización del entrenamiento favorece no solo los músculos inspiratorios sino también a la musculatura periférica, a través de la vasoconstricción y la redistribución del flujo sanguíneo, se menciona que gracias al EMI se puede incrementar la presión inspiratoria máxima (Pimáx), definida como la presión máxima producida por los músculos inspiratorios cuando se realiza una inspiración forzada, (7) que se eleva hasta un 40%, a diferencia de un aumento del 18% en aquellos pacientes tratados únicamente con movilización temprana (8).

Dispositivo para realizar EMI

El EMI tiende a realizarse con la ayuda de un dispositivo conocido como Threshold, que para su uso se acopla al tubo endotraqueal o a la cánula de traqueostomía cuando se usa en pacientes con VM. En el caso de pacientes que no tienen este tipo de ventilación puede utilizarse una boquilla y una pinza nasal (9). Más adelante en este mismo capítulo se describe el uso de estos y otros dispositivos de importante aplicación en el EMI.

Indicaciones

El EMI está indicado en deportistas de alto rendimiento, pacientes que presenten enfermedades respiratorias de curso crónico como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, la insuficiencia cardíaca congestiva, el daño espinal a nivel cervical y la distrofia muscular, entre otros; así como previo a cirugía cardiovascular y en la desconexión de VM de pacientes con estancia en UCI (10).

Los pacientes deben tener disfunción muscular inspiratoria, medida a través de los dispositivos para determinar la fuerza de los músculos respiratorios. Estos programas de entrenamiento muscular inspiratorio pueden ser realizados en el domicilio, utilizando válvula umbral o de resistencia. (11)

Contraindicaciones

Entre las contraindicaciones del EMI se encuentra la insuficiencia respiratoria aguda, caracterizada por una PaO_2 menor de 60 mmHg y una PaCO_2 mayor a 45 mmHg, en el paciente que se encuentra respirando aire ambiente. Otras condiciones que contraindican el EMI son las enfermedades cardiovasculares descompensadas, la hipertensión pulmonar, la hipertensión arterial crónica mal manejada y el agotamiento de los músculos respiratorios (10).

Variables

El entrenamiento de los músculos inspiratorios presenta dos tipos, uno enfocado en desarrollar la fuerza de los músculos y otro enfocado en aumentar su resistencia.

Fuerza

La fuerza corresponde a la capacidad de las contracciones del sistema muscular para movilizar el cuerpo en una situación dada. Representa una función de los movimientos voluntarios que permite realizar

tareas motrices asociadas a otros factores como la velocidad, la habilidad y la resistencia. En síntesis, es un concepto empleado para describir los aspectos cualitativos del movimiento (12).

Consiste en aplicar una carga resistiva a la musculatura y se puede aplicar en pacientes que estén conectados a la VM o a los pacientes con una respiración autónoma; en VM lo que se hace es que propiamente en el ventilador se programa una pausa espiratoria con oclusión del paso de aire de aproximadamente 20 segundos para luego dejar que el paciente inspire, ahí se mide la presión inspiratoria máxima que se pudo realizar, mientras que para pacientes con una respiración autónoma se puede indicar exhalar todo el aire, tratando de quedar en un Volumen Residual (VR), para posteriormente realizar una respiración inspirando con la mayor fuerza posible, pero a través de un manovacuómetro (13).

Otro método mediante el cual se puede examinar la acción de la musculatura inspiratoria es a través de la excursión diafragmática utilizando un ultrasonido, ya que este puede medir el grado de actividad y contracción que ejerce el diafragma y con ciertos comandos evaluar diferentes grados de fuerza contráctil (14).

Resistencia

La resistencia corresponde a la capacidad de realizar trabajo físico durante un periodo de tiempo específico. En el caso de los músculos esta es determinada por la circulación y el oxígeno disponible. La capacidad de continuar con un ejercicio de intensidad moderada-alta durante un periodo de tiempo, es llamada resistencia o aguante por algunos deportistas (15).

El EMR busca que los músculos trabajen a una velocidad de contracción máxima durante un tiempo prolongado (16). Diferentes estudios han evidenciado que este puede contribuir al aumento de la resistencia durante el ejercicio o las actividades de corte cardiovascular como, por ejemplo, correr, nadar o montar en bicicleta (17).

Tipos de fibras musculares reclutadas

Los tipos de fibra muscular reclutados dependen del tipo de actividad física realizada y del músculo que participe durante la acción. Por ejemplo, en el caso del músculo diafragmático según estudios realizados en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, se ha comprobado que tiene un porcentaje mayor de fibras tipo I que son las fibras aeróbicas, lentas y resistentes a la fatiga. En relación con el entrenamiento de resistencia de 6 a 15 semanas de duración, se ha podido encontrar un aumento considerable en el número de fibras musculares de tipo I, con disminución de las fibras de tipo IIb (18).

Lo anterior también se ha asociado a un aumento de la cantidad de mitocondrias y la actividad de enzimas mitocondriales tras periodos de entrenamiento de resistencia. Adicionalmente, se ha encontrado aumento de la masa y la fuerza muscular de las fibras tipo IIa y una disminución de las fibras tipo IIb, con hipertrofia de ambos tipos. Las modificaciones a nivel funcional, molecular y estructural, se producen en el músculo cuando se aplica un estímulo adecuado, que depende de la frecuencia, la duración y la intensidad (18). Monsalve y colaboradores, en cambio afirman que el EMI no genera cambios en la variabilidad de las fibras tipo I y II, pero permite la mejora de la fuerza y la resistencia a nivel muscular (6).

Métodos para evaluar la fuerza muscular respiratoria

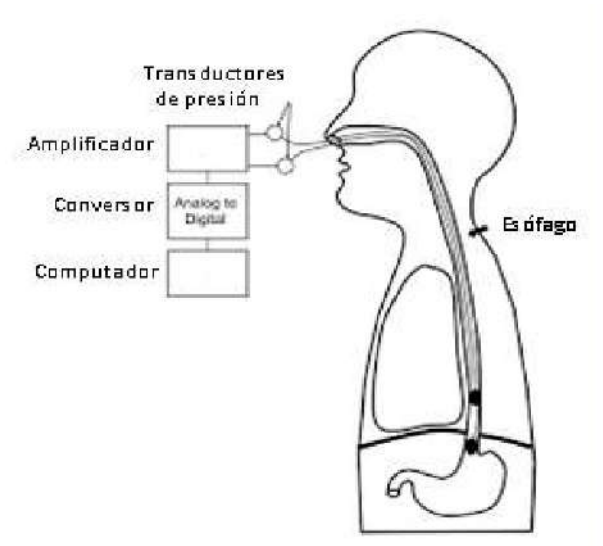
El establecimiento de la fuerza muscular máxima que realizan los músculos respiratorios es muy importante en la clínica, pues permite detectar la debilidad de estos o su grado de disfunción, así como monitorizar o valorar diferentes procedimientos terapéuticos (19). Para realizar la evaluación de la fuerza de los músculos respiratorios se pueden utilizar métodos invasivos y no invasivos. (20) En los primeros cabe mencionar el balón esofágico, mientras que en los segundos se destacan el manovacuómetro y la ventilometría.

Métodos invasivos

Balón esofágico

Permite medir la presión inspiratoria o espiratoria máxima de manera fácil mediante la evaluación de la fuerza de los músculos respiratorios (Figura 82). Determina la presión en milímetros de mercurio (mmHg), que generan los músculos en el momento de realizar la inspiración o la espiración forzada con la vía aérea ocluida, para ello se usa precisamente el balón esofágico conectado a un transductor de presión (21,22).

Figura 82. Uso de balón esofágico en EMR.



Fuente: Mahler D. Sleep Deprivation Reduces Respiratory Muscle Endurance (19)

Aquí es importante considerar la variable Pdi que representa la diferencia entre la presión del estómago y la presión del esófago durante el desarrollo de maniobras de respiración pasiva o durante esfuerzo máximo. Esta refleja la tensión realizada por el músculo diafragma y

está determinada de forma importante por el volumen pulmonar, por lo que su medición se estandariza al volumen del pulmón en el que se ejecuta la maniobra. La medición de la Pdi posibilita el estudio específico de la función diafragmática, mientras que la Pimáx no posibilita la diferenciación de la función de grupos musculares inspiratorios (23).

Métodos no invasivos Manovacuómetro

El manovacuómetro es un manómetro que está disponible en versión mecánica o digital, posibilita registrar las presiones en la boca en centímetros de H_2O , está disponible análogo (figura 83) y digital (figura 84). El tipo de manovacuómetro recomendado para medir la Pimáx es aquel que cumple con requisitos de confiabilidad, precisión y reproductibilidad. En ese sentido, se recomienda el dispositivo digital debido a que tiene una mayor precisión y confiabilidad. Además, hay evidencia de que la medición de la Pimáx con el manovacuómetro digital presenta alta confiabilidad inter e intra evaluador (24,25).

Figura 83. Manovacuómetro análogo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 84. Manovacuómetro digital.



Fuente: Elaboración propia

Presiones, inspiratoria máxima (Pimáx) y espiratoria máxima (Pemáx)

La determinación correcta de la Pimáx y la Pemáx permite establecer la fuerza de los músculos respiratorios de una manera indirecta. Son medidas fáciles de realizar y no requieren procedimientos demasiado complejos o invasivos.

Para realizarlas el paciente debe producir una presión inspiratoria máxima partiendo de su volumen residual (VR) y una presión espiratoria máxima partiendo de su capacidad pulmonar total (CPT), contra un sistema que se encuentra ocluido.

La Pimáx permite evaluar esencialmente la fuerza del diafragma y de los músculos intercostales externos; mientras que la Pemáx permite evaluar la de los músculos intercostales internos y la musculatura abdominal.

Las presiones respiratorias máximas (PRM) son de gran importancia en la clínica, principalmente en el diagnóstico y control de las enfermedades que impactan negativamente la funcionalidad de los músculos respiratorios (19).

Los valores de referencia para la Pimáx y Pemáx propuestos por Black y Hyatt, son: la Pimáx en promedio para varones jóvenes sanos es de $115 \pm 27 \text{ cmH}_2\text{O}$, con un valor del 25% menos en las mujeres y la Pemáx reportada es de 100 a $150 \text{ cmH}_2\text{O}$. En el estudio de Harikkhan se encontró que los hombres presentaban medidas 30% superiores a las del sexo opuesto, siendo estas de 101 y $72 \text{ cmH}_2\text{O}$ respectivamente; mientras que en el estudio de Gil el valor promedio de Pimáx obtenido fue de $75 \pm 27 \text{ cmH}_2\text{O}$ y la medida de la Pemáx fue de $96.4 \pm 36 \text{ cmH}_2\text{O}$, con resultados mayores en el sexo masculino. No obstante, en Colombia es preciso aumentar el número de investigaciones en esta área y tratar de precisar ecuaciones que permitan predecir estos parámetros, de tal forma que se puedan extrapolar los resultados para el mejoramiento de la salud de los pacientes, una mejor rehabilitación pulmonar (26) y la mejora en su calidad de vida.

Para hacer el cálculo de las presiones inspiratoria y espiratoria máximas se utiliza la tabla de valores normales para presiones respiratorias máximas propuesta por Black y Hyatt (Tabla 10).

Tabla 10. Valores normales para presiones respiratorias máximas.

PRESIÓN	SEXO	PRESIÓN (cm H ₂ O)				
		Edad (años)				
		20-54	55-59	60-64	65-69	70-74
PIMÁX	Hombre	124 +/- 44	103 +/- 32	103 +/- 32	103 +/- 32	103 +/- 32
	Mujer	87 +/- 32	77 +/- 26	73 +/- 26	70 +/- 26	65 +/- 26
PEMÁX	Hombre	233 +/- 84	218 +/- 74	209 +/- 74	197 +/- 74	185 +/- 74
	Mujer	152 +/- 54	145 +/- 40	140 +/- 40	135 +/- 40	128 +/- 40

Fuente: Traducido de: Black LF, Hyatt RE. Presiones máximas respiratorias: valores normales y su relación con la edad y el sexo. Am Rev Respir Dis. mayo de 1969;99(5): p. 696-702.

Las mediciones se realizan mientras cada paciente está sentado y lleva una pinza nasal. Este debe sostener el cilindro de metal en su mano y presionar la boquilla firmemente contra sus labios durante la medición de la presión para evitar la fuga perioral.

La Pemáx se mide cerca de la CPT después de lograr una inspiración máxima, mientras que la Pimáx se mide cerca del VR después de una expiración máxima. Las mediciones se mantienen durante al menos un segundo. Las determinaciones se repiten hasta que se registren dos mediciones técnicamente satisfactorias, utilizando el valor más alto en los cálculos posteriores (27).

Pimáx

Mide la presión de la musculatura inspiratoria. En individuos normales va entre - 80 a -100 CmH₂O. Valores bajo 20 CmH₂O necesitan soporte ventilatorio. El cálculo de Pimáx y Pemáx se realiza de la siguiente manera de acuerdo a Black y Hyatt (tabla 11):

Tabla 11. Ecuaciones de regresión relacionadas con las presiones respiratorias máximas y la edad.

SEXO	INTERVALO DE EDAD (en años)	ECUACIÓN	P (Importancia del coeficiente de regresión)
HOMBRE	Todas las edades	Pimáx = 143-0.55A Pemáx = 268-1.03A	< 0.01 < 0.01
	20 - 54	Pimáx = 129 - 0.13A Pemáx = 229 - 0.08A	NS NS
	55 - 80	Pimáx = 120 - 0.25A Pemáx = 353 - 2.33A	NS < 0.01
MUJER	Todas las edades	Pimáx = 104 - 0.51A Pemáx = 170 - 0.53A	< 0.01 < 0.01
	50 - 54	Pimáx = 100 - 0.39A Pemáx = 158 - 0.18A	NS NS
	55 - 86	Pimáx = 122 - 0.79A Pemáx = 210 - 1.14A	< 0.01 < 0.01
*Las ecuaciones de regresión se aplican solo a adultos mayores de 20 años. A = edad en años; Pimáx = presión inspiratoria máxima en centímetros H ₂ O; Pemáx = presión espiratoria máxima en centímetros H ₂ O.			
NS = no significativa (P> 0,05).			

Fuente: Adaptado de: Black LF, Hyatt RE. Presiones máximas respiratorias: Valores normales y relación con la edad y sexo. Am Rev Respir Dis. mayo de 1969;99(5):696-702.

Para determinar los valores de la Pimáx se recomiendan los siguientes movimientos:

- Posicionar al paciente.
- Adaptar boquilla o adaptar a traqueostomía.
- Oxígeno (en casos que sea necesario).

- Máximo esfuerzo inspiratorio durante dos segundos (paciente colaborador).
- Tres intentos máximos.

Pemáx

Mide la presión musculatura espiratoria (capacidad de generar fuerza). Principal predictivo de protección de la vía aérea. El cálculo en individuos normales va entre +100 a +150 cmH₂O según se expuso en la anterior tabla 11.

Instrucciones de uso

Para la medición del Pemáx se recomiendan los siguientes lineamientos:

- Posicionar al paciente.
- Adecuar manómetro a cánula de traqueotomía o boca de fonación.
- Exhalar lo más fuerte posible manteniendo esfuerzo durante dos segundos.
- Si el paciente no colabora, ocluir válvula durante dos segundos.
- Diez intentos máximos.

Ventilación voluntaria máxima

La ventilación voluntaria máxima es un método que consiste en la medición de la resistencia de los músculos respiratorios mediante el empleo de un espirómetro (28) y en concordancia con las indicaciones propuestas por la Asociación Americana de Tórax (ATS) y la Sociedad Europea Respiratoria (ERS). Esta prueba permite predecir el volumen máximo que una persona puede respirar en un intervalo de tiempo fijo, generalmente de 15 segundos en personas sanas (Figura 85).

Para el desarrollo de la prueba se ubica al paciente en una silla con respaldo, pinza y filtro antibacteriano, se solicita que ejecute una serie de respiraciones rápidas y profundas durante 15 segundos con un máximo de tres intentos. Se deben obtener dos maniobras ejecutadas correctamente sin diferencia mayor al 20%, y seleccionar la que presente mayor valor de ventilación/minuto (29).

Esta prueba se realiza a través del equipo espirómetro, pero también se puede realizar utilizando una cabina pletismográfica, donde se miden volúmenes y capacidades más precisas. Es un test de función respiratoria que permite determinar la capacidad funcional residual (CRF) y la resistencia de la vía aérea. Es el Gold estándar para medir volúmenes pulmonares (29). Muy útil sobre todo para confirmar si hay restricción a nivel pulmonar, posibilitando la determinación de la existencia de hiperinflación pulmonar y de atrapamiento aéreo.

Figura 85. Espirómetro utilizado para la determinación de la ventilación voluntaria máxima.



Fuente: Elaboración propia.

Ventilometría

El análisis de las señales respiratorias corresponde a una tecnología de nueva generación utilizada en los centros hospitalarios de más alto nivel. Esta permite establecer nuevos marcadores de función pulmonar basándose en la respiración normal en estado basal. Posibilita también determinar el estado respiratorio del paciente, específicamente el perfil respiratorio personal (PRP). Ofrece también seguridad a aquellos pacientes que presentan enfermedades respiratorias de carácter crónico, sin importar el momento o el lugar (30).

Consiste en la evaluación de la ventilación espontánea mediante la valoración de parámetros ventilatorios como:

- Frecuencia respiratoria.
- Volumen corriente.
- Volumen minuto.
- Capacidad vital.

Objetivo

Demostrar los requerimientos ventilatorios del paciente y de la carga a la cual es sometida la musculatura ventilatoria.

Instrucciones de uso

Se recomienda posicionar al paciente adecuadamente para realizar la ventilometría, posteriormente conectar el ventilómetro al paciente. De ser necesario se debe aportar 10 a 20% más de oxígeno. Finalmente se debe desbloquear el ventilómetro y proceder a realizar la prueba.

Evaluación de la fuerza y la resistencia

Evaluación de la fuerza muscular

Se recomienda poner en la posición adecuada al paciente para realizar la ventilometría. La evaluación de la fuerza muscular se puede realizar mediante la determinación de la presión máxima en la boca durante la ejecución de las maniobras de Müller que usan los músculos inspiratorios, es decir, la Pimáx, o mediante la maniobra de Valsalva que implica los músculos espiratorios, es decir, la Pemáx. También es posible realizar evaluación de la presión nasal de olfato, también conocida como *sniff* (31). La evaluación de este parámetro puede realizarse también mediante la Pimáx en concordancia con los protocolos propuestos por la ATS y la ERS con ayuda de un dispositivo como el manovacuómetro (32).

Evaluación de la resistencia

La evaluación de la resistencia de la musculatura inspiratoria puede evaluarse con ayuda de la prueba de resistencia ventilatoria o con la prueba de medición de capacidad de los músculos inspiratorios, que permite producir altos niveles de presión sostenida en el tiempo (31).

Presión Inspiratoria Máxima Sostenida (PIMS)

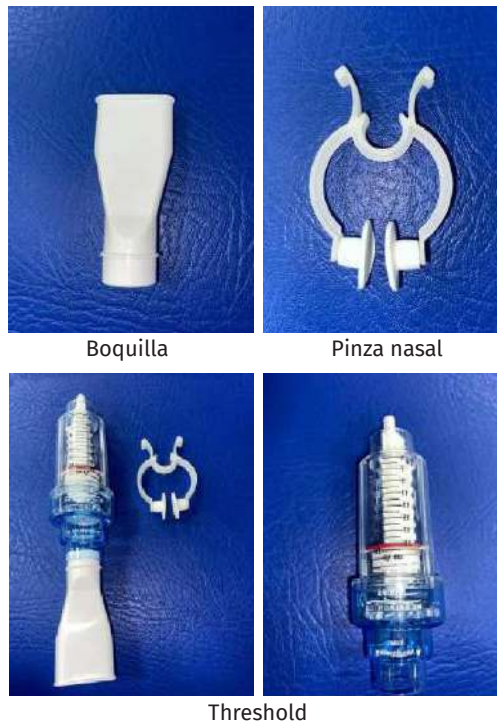
La PIMS representa un test de carga incremental con gran reproducibilidad y tolerabilidad. Esta prueba consiste en la respiración mediante un dispositivo externo de tipo umbral en el que se incrementa la resistencia cada dos minutos alrededor de 5-10% de una Pimáx obtenida previamente, hasta que se alcance la carga máxima que el paciente pueda sostener durante al menos dos minutos, conocida esta como la carga inspiratoria máxima sostenida (CIMS); y también la máxima presión inspiratoria que este puede lograr en ese tiempo, es decir, la PIMS (31).

Dispositivos de entrenamiento

Válvula de tipo umbral (Threshold® IMT)

El dispositivo umbral o Threshold® IMT es un dispositivo fácil de utilizar y funciona con la medida de la presión inspiratoria máxima, un indicador de la fuerza de la musculatura inspiratoria (33). Actúa como una válvula inspiratoria o espiratoria unidireccional que no depende del flujo, por lo que garantiza una resistencia con valores de presión predefinidos en cmH_2O por el profesional, aunque la evidencia apunta a que la utilización de 30% de los valores resultantes en las mediciones Pimáx son los más efectivos para iniciar un tratamiento, (34) aunque pueden fluctuar de 9 hasta 41 cmH_2O . (33) (figura 86).

Figura 86. Dispositivos de entrenamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Instrucciones de uso

El paciente debe generar una fuerza muscular inspiratoria mínima que le permita vencer una carga umbral para generar la fuerza inspiratoria necesaria que pueda abrir la válvula de resorte activado (35).

Indicaciones

Las principales indicaciones de uso de este dispositivo son la reducción de la disnea de esfuerzo en pacientes que tienen enfisema, el aumento de la resistencia a la vía aérea glótica, también en enfermedades como la fibrosis quística. Así mismo, está indicado para aumentar la fuerza de la musculatura inspiratoria en pacientes dependientes y no dependientes de ventilación mecánica (figura 87).

Características

Son características relevantes de este dispositivo las siguientes:

- Presencia de una válvula unidireccional que no depende del flujo.
- Presión constante que no depende del flujo de aire del paciente y que hace innecesaria la presencia de un indicador de presión.
- Es fácil de instalar, con presión ajustable realmente (aumentos de 2 CmH₂O).
- Efectividad de la terapia sin importar la posición.
- Uso con pieza bucal o mascarilla.
- Fácil de higienizar.
- Está fabricado en material duradero.
- Fortalecimiento y aumento de la musculatura respiratoria.
- Incremento de la capacidad de tolerancia a la actividad física.

Figura 87. Uso de dispositivo Threshold.

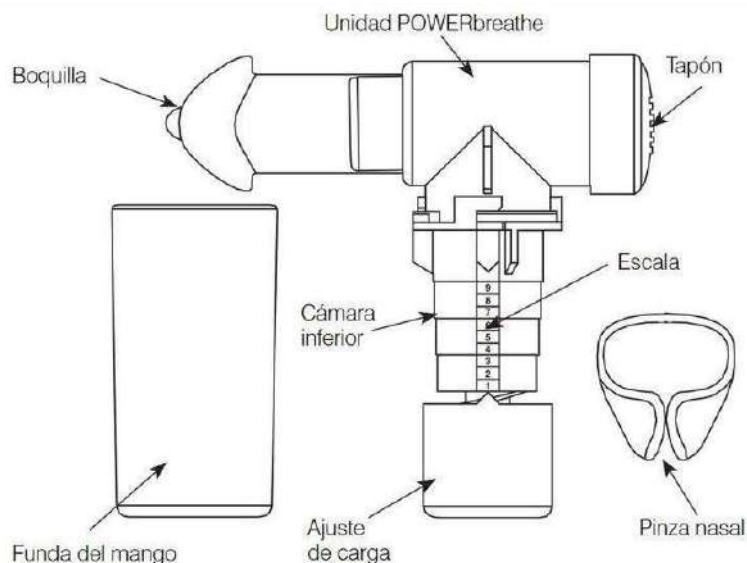


Fuente: Elaboración propia.

Dispositivo de carga resistiva

El dispositivo de carga resistiva es un dispositivo de uso generalizado, principalmente el Power Breathe, que consiste en un dispositivo de pequeño tamaño con una boquilla y un componente dial circular que al ser girado permite modificar la apertura por la que el paciente respira (figura 88).

En este dispositivo, cuanto más pequeña es la abertura más alta es la resistencia a la inspiración, lo que permite el incremento de carga con una frecuencia respiratoria, un volumen corriente y un tiempo inspiratorio constantes (36,37).

Figura 88. Dispositivo de carga resistiva PowerBreathe.

Fuente: Biolaster S.L. Cómo es el PowerBreathe (35).

El PowerBreathe Medic es un dispositivo diseñado especialmente para el entrenamiento de los músculos inspiratorios en pacientes con afecciones o problemas respiratorios y cardiopatas. La resistencia es regulable mediante el mango de ajuste (37).

PFLEX

El PFLEX Resistive Trainer es un dispositivo pequeño que también cuenta con boquilla y dial circular. Al girar este último permite modificar el tamaño de la abertura por la que respira el paciente (Figura 89).

Cuanto más pequeña es la abertura más aumenta la resistencia al proceso de inspiración. Este dispositivo cuenta con seis tipos de resistencias inspiratorias que permiten adaptar el ingreso de aire al cuerpo del mismo. Los diámetros de los diferentes orificios del uno al seis son en orden inverso 0,45 mm, 1,9 mm, 2,7 mm, 3,5 mm, 4,5 mm

y 5,35 mm. Cuando se usa este dispositivo se le solicita al paciente que realice la inspiración a través de los orificios con diámetros cada vez menores (34).

Figura 89. Dispositivo PFLEX.



Fuente: Guzmán Sánchez M, Morris Novoa CE. Efectos del entrenamiento con válvula de carga umbral en el rendimiento deportivo en base al tiempo en nadadores competidores (32).

La finalidad de este al igual que en otros dispositivos similares es el aumento de la carga en la musculatura inspiratoria. La carga se va aumentando progresivamente al tiempo que se garantizan valores constantes de frecuencia respiratoria, volumen corriente y tiempo inspiratorio. Son múltiples los estudios que hacen uso de este dispositivo como un medio de entrenamiento importante de los músculos respiratorios (34,38).

Bustamante et al (39), compararon en su estudio dos métodos diferentes de entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, incluyendo entre los dispositivos el Pflex como un dispositivo de carga resistiva (CR).

Los pacientes con EPOC grave-moderada fueron asignados de manera aleatoria a la realización de entrenamiento en domicilio con dispositivo CR durante al menos seis semanas, con dos sesiones diarias de unos quince minutos. Los resultados obtenidos reflejan una mejora en los valores de presión inspiratoria máxima y en las puntuaciones para enfermedad respiratoria crónica, al igual que mejores incrementos en algunas áreas de calidad de vida.

EMR en condiciones específicas UCI y VM

El EMR representa una de las estrategias terapéuticas más importantes utilizadas en el mejoramiento de la fuerza muscular en pacientes que tienen ventilación mecánica, facilitando el tiempo de destete. El objetivo en estos pacientes es contribuir a la mejora en los valores de fuerza y resistencia de la musculatura respiratoria. Hay pocas investigaciones orientadas a la evaluación del EMR en pacientes con ventilación mecánica como estrategia en la mejora del destete, solo cuatro estudios han valorado el impacto de este en cuánto al tiempo de destete de VM se refiere. De estos solo dos reportan diferencias importantes, concluyendo que el EMR disminuye el tiempo de destete (32).

Varios estudios con diferentes tipos de metodologías asociadas al uso de dispositivos han permitido evidenciar que el EMI tiene importantes efectos positivos en aquellos pacientes que trascienden el alta hospitalaria. No obstante, no se ha logrado que el EMI sea una práctica habitual en las UCI, sobre todo debido al desconocimiento de las posibilidades de este y las escasas guías publicadas (6).

El entrenamiento de musculatura inspiratoria con Threshold IMT® reduce el tiempo de destete en paciente crítico adulto conectado a ventilación mecánica invasiva, en comparación con paciente crítico adulto en proceso de destete que no realiza el entrenamiento muscular inspiratorio.

La fisioterapia respiratoria convencional asociada al uso del dispositivo Threshold IMT®, es importante en el proceso de rehabilitación, incluso si se utilizan sumados a otros dispositivos que presentan mayor efectividad en un periodo de tiempo más corto para el paciente.

Es importante destacar que la fisioterapia respiratoria convencional y la utilización del dispositivo Threshold IMT®, resultan favorables en la rehabilitación, inclusive utilizándolos en conjunto con otros dispositivos tiene mayor efectividad en menos tiempo en el paciente (35).

EPOC

En pacientes con enfermedades respiratorias crónicas como la EPOC, se describe la evidencia del EMI en la tabla 12; en esta se relacionan los estudios más importantes que han abordado los efectos del EMI en pacientes con esta enfermedad. Se trata de estudios con una alta variabilidad en cuanto a los parámetros utilizados como las características poblacionales, entre otros, en los que la conclusión general es que el EMI es útil en pacientes que tienen EPOC confirmada y que hacen parte de un programa de rehabilitación integral (10).

Tabla 12. Características de ensayos clínicos controlados en los que se ha estudiado el efecto del EMI en pacientes que presentan EPOC

ESTUDIO	DISEÑO	N	EDAD (años)	VEFI (% teórico)	MODALIDAD DE EMI	DURACIÓN DE LA SESIÓN (minutos)	INTENSIDAD DE LA SESIÓN	FRECUENCIA DE ENTRENAMIENTO	TIPO DE EVALUACIÓN (funcional-clínica)
Larson et al.	EMI A/B	45	63	32	Válvula carga umbral	15 - 30	30% Pimáx	1x7/8 sem	FMI-RFMI-CE-CV
Belman et al	EMI A/B	20	64	-z	Resistencia inspiratoria	15	P. máxima tolerada	2x7/6 sem	FMI-RFMI-FP
Harver et al	EMI/CT	23	63	38	Resistencia inspiratoria	15	5-35 cm H ₂ O/L x s	2x7/8 sem	FMI-D-FP
Goldstein et al	EMI/CT	11	65	33	Válvula carga umbral	20	P. máxima tolerada	2x5/4 sem	FMI-CE-FP

ESTUDIO	DISEÑO	N	EDAD (años)	VEFI (% teórico)	MODALIDAD DE EMI	DURACIÓN DE LA SESIÓN (minutos)	INTENSIDAD DE LA SESIÓN	FRECUENCIA DE ENTRENAMIENTO	TIPO DE EVALUACIÓN (funcional-clínica)
Patessio et al	EMI/CT	16	63	52	Resistencia inspiratoria	15	50% Pimáx	4x7/8 sem	FMI-RFMI-FP
Dekhuijzen et al	EMI/CT	40	59	50	Resistencia inspiratoria	15	70% Pimáx	2x2/10 sem	FMI-RFMI-CE-D-FP
Kim et al	EMI/CT	112	65	40	Válvula carga umbral	15 - 30	30% Pimáx	1x7/24 sem	FMI-RFMI-CE-D-FP
Wanke et al	EMI/CT	42	56	46	Válvula carga umbral	10	60%-70% Pimáx	1x7/8 sem	FMI-RFMI-CE-FP
Preusser et al	EMI A/B	20	65	34	Válvula carga umbral	5 - 18	52% Pimáx	1x3/12 sem	FMI-RFMI-CE-FP
Heijdra et al	EMI A/B	20	62	36	Resistencia inspiratoria	15	60% PIMax	2x7/10 sem	FMI-RFMI-FP
Berry et al	EMI/CT	25	6	46	Válvula carga umbral	-	15-80% PIMax	2x3/12 sem	FMI-RFMI-CE-D-FP
Lisboa et al	EMI A/B	20	62	38	Válvula carga umbral	30	30% PIMax	1x6/10 sem	FMI-CE-D-FP
Villafranca et al	EMI A/B	31	62	-	Válvula carga umbral	15	30%Pimáx	2x6/10 sem	FMI-RFMI
Larson et al	EMI/CT	53	65	50	Válvula carga umbral	30	30-60% Pimáx	1x5/16 sem	FMI-RFMI-CE-D-FP
Sánchez-Riera	EMI/CT	20	67	40	Resistencia inspiratoria	15	30% Pimáx	2x6/24 sem	FMI-RFMI-CE-CV-D
Covey et al	EMI/CT	27	-	-	Válvula carga umbral	30	30-60% Pimáx	1x7/16 sem	FMI-RFMI-CE-D-FP
Ramírez-Sarmiento	EMI/CT	14	66	24	Válvula carga umbral	30	60% Pimáx	1x5/5 sem	FMI-RFMI-CE-FP
Weiner et al	EMI A/B	16	62	44	Válvula carga umbral	30	15-60% Pimáx	1x6/12 sem	FMI-RFMI-CE-D-FP
Weiner et al	EMI A/B	32	65	46	Válvula carga umbral	30	60% Pimáx	1x3/52 sem	FMI-RFMI-D-FP
Beckerman et al	EMI A/B	42	67	42	Válvula carga umbral	15	15-60% Pimáx	2x6/56 sem	FMI-CE-CV-FP
Hill et al	EMI/CT	35	68	37	Válvula carga umbral	21	P. máxima tolerada	1x3/8 sem	FMI-RFMI-CE-CV-FP

ESTUDIO	DISEÑO	N	EDAD (años)	VEFI (% teórico)	MODALIDAD DE EMI	DURACIÓN DE LA SESIÓN (minutos)	INTENSIDAD DE LA SESIÓN	FRECUENCIA DE ENTRENAMIENTO	TIPO DE EVALUACIÓN (funcional-clínica)
Koppers et al	EMI/CT	36	56	54	Hiperpnea normocápnica	15	60% VVM	2x7/5 sem	FMI-RFMI-CE.CV-FP
Weiner et al	EMI A/B	28	63	37	Válvula carga umbral	60	15-60% Pímax	1x6/8 sem	FMI

Fuente: Pinheiro G, Saldías F. Entrenamiento muscular inspiratorio en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Revista chilena de enfermedades respiratorias. Junio de 2011;27(2):116-23 (9).

El mayor número de resultados de estudios de entrenamiento muscular respiratorio en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, puede proyectarse a diferentes patologías respiratorias. Aunque esta extrapolación no es exacta, se puede inferir que los resultados que se han obtenido en EMR en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva y en pacientes sanos se correlacionan con una mejor adaptación de la musculatura respiratoria, y con la capacidad de esta de responder ante entrenamientos específicos (21).

Pacientes de cirugía cardíaca

En EMI debe iniciarse desde antes de programar la cirugía cardíaca y continuarse inmediatamente después de la intervención quirúrgica en UCI. Este debe prolongarse incluso semanas después de la cirugía a pesar del alta del paciente.

Es importante que los pacientes se incluyan en programas de rehabilitación cardíaca y que cuenten con un equipo multidisciplinario que ayude a mejorar su calidad de vida (40). La tabla 13 describe la evidencia científica del EMI en pacientes de cirugía cardíaca.

Tabla 13. Entrenamiento preoperatorio de músculos inspiratorios comparado con atención habitual, intervención sin ejercicio para adultos en lista de espera de cirugía cardíaca y abdominal mayor

RESULTADOS	RIESGOS COMPARATIVOS ILUSTRATIVOS* (IC del 95%)		EFECTO RELATIVO (IC del 96%)	No. DE PARTICIPANTES	CALIDAD DE LA EVIDENCIA (GRADE)	COMENTARIOS
	RIESGO ASUMIDO	RIESGO CORRESPONDIENTE				
	CONTROL	ENTRENAMIENTO PREOPERATORIO DE LOS MUSCULOS INSPIRATORIOS				
Atelectasia posoperatoria definiciones originales de los autores	Población de estudio		RR 0,53 (0,34 a 0,82)	443 (7 estudios)	+ + - - bajo	Estadístico I2 = 0%, valor P = 0,004
	207 por 1000	110 por 1000				
	Moderar					
	263 por 1000	139 por 1000 (89 a 206)				
Neumonía posoperatoria definiciones de los autores	Población de estudio		RR 0,45 (0,26 a 0,77)	675 (11 estudios)	+ + + - moderado	Estadístico I2 = 0%, valor P =0,004
	117 por 1000	53 por 1000				
	Moderar					
	83 por 1000	37 por 1000 (31 a 90)				
Ventilación mecánica > 48 horas	Población de estudio		RR 0,55 (0,03 a 9,2)	338 (3 estudios)	+ - - - muy bajo	Estadístico I2 = 56% valor P = 0,68, el efecto es incierto
	36 por 1000	20 por 1000				
	Moderar					
	0 por 1000	0 por 1000 (0 a 0)				
Mortalidad por todas las causas dentro de los 30 días durante el periodo posoperatorio	Población de estudio		RR 0,4 (0,04 a 4,23)	431 (7 estudios)	+ - - - muy bajo	Estadístico I2 = 59%, valor P=0,09, el efecto es incierto
	41 por 1000	17 por 1000 (2 a 175)				
	Moderar					
	0 por 1000	0 por 1000 (0 a 0)				
Eventos adversos	Ver comentarios	Ver comentarios	No estimable	462 (8 estudios)	+ + - - bajo	3 estudios informaron sobre eventos adversos, sin embargo, todos estos estudios informaron que no hubo eventos en ambos grupos

RESULTADOS	RIESGOS COMPARATIVOS ILUSTRATIVOS* (IC del 95%)		EFECTO RELATIVO (IC del 96%)	No. DE PARTICIPANTES	CALIDAD DE LA EVIDENCIA (GRADE)	COMENTARIOS
	RIESGO ASUMIDO	RIESGO CORRESPONDIENTE				
	CONTROL	ENTRENAMIENTO PREOPERATORIO DE LOS MÚSCULOS INSPIRATORIOS				
Duración de la estancia hospitalaria	-	La duración media de la estancia hospitalaria en los grupos de intervención fue 1,33 menor (2,53 a 0,13 menor)	-	424 (6 estudios)	+ + - - bajo	Estadísticos I ² = 7%, valor P=0,03

Fuente: Katsura M, Kuriyama A, Takeshima T, Fukuhara S, Furukawa TA. Entrenamiento muscular inspiratorio preoperatorio para complicaciones pulmonares postoperatorias en adultos sometidos a cirugía abdominal cardíaca y mayor (40).

En una revisión de Cochrane en la que se buscaba valorar la efectividad del entrenamiento muscular inspiratorio preoperatorio sobre las complicaciones pulmonares postoperatorias en adultos que fueron sometidos a cirugía cardíaca, se encontró evidencia de que el EMI preoperatorio reducía condiciones como la atelectasia posoperatoria, la enfermedad neumónica y el tiempo de estadía en el hospital en aquellos adultos que fueron sometidos a este tipo de cirugía (41).

Asma

En una revisión sistemática (tabla 14) se encontró que no hay evidencia significativa para apoyar o rechazar el entrenamiento de la musculatura inspiratoria para el asma. Esta evidencia estuvo limitada por el pequeño número de ensayos y los pocos participantes de estos.

El estudio sugiere la investigación a futuro de parámetros como exacerbaciones, función pulmonar, administración de fármacos, síntomas de asma, entre otros.

También se propone la evaluación del entrenamiento de la musculatura inspiratoria en aquellos pacientes con un asma de mayor severidad y en los pacientes pediátricos que cursen con la enfermedad (42).

Tabla 14. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria versus control del asma.

RESULTADOS	RIESGOS COMPARATIVOS ILUSTRATIVOS * (IC DEL 95%)		EFECTO RELATIVO (IC DEL 95%)	NO DE PARTICIPANTES	CALIDAD DE LA EVIDENCIA (GRADE)	COMENTARIOS
	RIESGO ASUMIDO	RIESGO CORRESPONDIENTE				
	CONTROL	ENTRENAMIENTO DE LOS MÚSCULOS INSPIRATORIOS				
Fuerza de los músculos inspiratorios (Pimáx; cmH2O) Seguimiento: Media de 3 a 25 semanas	La Pimáx media osciló entre los grupos de control de 78,70 a 121,7 cmH2O	La Pimáx media en los grupos de intervención fue 13,34 más alta (4,7 a 21,98 más alta)		34 (4 estudios)	+ + - - bajo	Efectos fijos I2 = 43%
Exacerbaciones que requieren un ciclo de corticosteroides orales o inhalados o visitas al departamento de emergencias	ver comentario	Ver comentario	ver comentario	ver comentario		No reportado
Pemax cmH2O Seguimiento: 3 a 6 semanas	La Pemáx media osciló entre los grupos de control de 78,8 a 152,8 cmH2O	La Pemáx media en los grupos de intervención fue 14,46 más alta (2,93 menos a 31,84 más alta)		38 (2 estudio)	+ + - - muy bajo	Efectos fijos I2 = 54%
FEV1 (valores reales al final de la intervención) L Seguimiento: 3 semanas	Ver comentario	Ver comentario	No estimable	18 (1 estudio)	+ - - - muy bajo	Solo hubo un ensayo que contribuyó a este resultado, por lo que no fue posible agrupar

RESULTADOS	RIESGOS COMPARATIVOS ILUSTRATIVOS * (IC DEL 95%)		EFECTO RELATIVO (IC DEL 95%)	NO DE PARTICIPANTES	CALIDAD DE LA EVIDENCIA (GRADE)	COMENTARIOS
	RIESGO ASUMIDO	RIESGO CORRESPONDIENTE				
	CONTROL	ENTRENAMIENTO DE LOS MÚSCULOS INSPIRATORIOS				
Disnea medida con escala de Borg seguimiento: 3 semanas	ver comentario	Ver comentario	No estimable	18 (1 estudio)	+ - - - muy bajo	Solo hubo un ensayo que contribuyó a este resultado, por lo que no fue posible agrupar
Uso de agonistas Beta 2 bocanadas por día seguimiento: 3 meses	ver comentario	Ver comentario	No estimable	22 (1 estudio)	+ - - - muy bajo	Solo hubo un ensayo que contribuyó a este resultado, por lo que no fue posible agrupar

Fuente: Silva I, Pedrosa R, Azevedo I, Forbes A, Fregonezy G, Dourado M, et al. Entrenamiento muscular respiratorio en niños y adultos con enfermedades neuromusculares. Cochrane Database of Systematic Reviews (42).

Enfermedades neuromusculares

Según una revisión sistemática (42), el EMR puede contribuir a la mejora de la capacidad pulmonar y de la fuerza de los músculos respiratorios en enfermedades neuro musculares (ENM). Por otro lado, se ha podido establecer que en la esclerosis lateral amiotrófica no hay efectos significativos del EMR en el funcionamiento físico en la calidad de vida de los pacientes.

Otros estudios (43, 44) han planteado hallazgos importantes en pacientes con ENM, sobre todo en la disnea que se presenta después de entrenamiento cardiopulmonar, concluyendo que el entrenamiento muscular respiratorio moderado es una forma efectiva para mejorar significativamente la Pimáx.

Tabla 15. Entrenamiento de los músculos respiratorios versus entrenamiento simulado en la ELA.

RESULTADOS	EFECTOS ABSOLUTOS PREVIS- TOS* (IC del 95%)		EFECTO RELATIVO (IC del 95%)	No. DE PARTICI- PANTES (estudios)	CERTEZA DE LA EVIDEN- CIA (GRA- DE)	COMENTARIOS
	RIESGO O VALOR CON EL ENTRE- NAMIENTO SIMULADO	RIESGO O VALOR CON EL ENTRENA- MIENTO DE LOS MÚSCULOS RESPI- RATORIOS				
Medidas de la capacidad pulmonar a corto plazo(menos de 3 meses) (Cambio desde el inicio en el 0% de la CVF prevista) se- guimiento: 8 semanas	El cambio medio en el % de CVF previsto en el grupo de control fue de 8,3%	El cambio medio en el % de FVC predi- cho en el grupo de entrenamiento fue un 0,70% menos de una disminución que en el grupo de entrenamiento simulado (8,48 más de una disminu- ción a 9,88 menos de una disminu- ción)	-	46 (1 ECA)	+ + - - baja	
Medidas de la capacidad pulmonar a mediano plazo (más de 3 meses pero menos de 1 año) (Cambio desde el valor inicial en el % de la CVF prevista) seguimiento: 4 meses	El cambio medio en el % de CVF previsto en el grupo de control fue de -5,20%	El cambio medio en el % de FVC predi- cho en el grupo de entrenamiento fue un 10,88% menos de una disminu- ción que en el grupo de entrena- miento simulado (4,25 más de una disminución a 25,97 menos de una disminución)	-	24 (1ECA)	+ + - - baja	El RMT puede mejorar la capacidad pul- monar en com- paración con el entrenamiento simulado a medio plazo. El MCID para FVC, basado en estimaciones en la fibrosis pulmonar idiopática es del 2% al 6% (du Bois 2011)
Medidas de la capacidad pul- monar a largo plazo (más de 1 año)	-					No medido

Fuente: Silva I, Pedrosa R, Azevedo I, Forbes A, Fregonezy G, Dourado M, et al. Entrenamiento muscular respiratorio en niños y adultos con enfermedades neuromusculares (42).

Deporte

Cada vez es más común la utilización en el deporte de planes de entrenamiento de la musculatura respiratoria, especialmente aquellos ejercicios que contribuyen a mejorar la capacidad aeróbica, y por tanto a la mejoría del rendimiento físico de los deportistas. En ese sentido, el entrenamiento de los músculos respiratorios es importante en personas que realizan actividad física considerable, como los deportistas, los militares y los rescatistas, entre otros (38).

El entrenamiento de la musculatura respiratoria, sin importar si se trata de dispositivos umbral, isocápnico, de resistencia u otros, contribuye a la mejora en los valores de la Pimáx y al rendimiento general en deportes específicos. No obstante, los estudios son pocos y limitados, sobre todo en lo que se refiere a la determinación de la VO_2 máxima. (45).

Las figuras 90 y 91 muestran dispositivos específicos para el entrenamiento de músculos respiratorios en el deporte. La tabla 16 la evidencia científica del EMI en el deporte.

Figura 90. Dispositivo Power Breathe, por IMT Technologies LTD.



Figura 91. Dispositivo Spiro Tiger, por Laboratorios Ideag AG. Suiza.



Fuente: González-Montesinos JL, Vaz Pardal C, Fernández Santos JR, Arnedillo Muñoz A, Costa Sepúlveda JL, Gómez Espinosa de los Monteros R. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. Rev Andal Med Deporte. 1 de diciembre de 2012;5(4):163-70. (45).

Tabla 16. Resumen de los resultados de distintas investigaciones relacionadas con el tratamiento de los MR y su influencia en el rendimiento físico.

AUTOR	N	MÉTODO	CAMBIOS RENDIMIENTO Y PIMAX
Volianitis et al	14 sujetos (7 GE-7 GC)	GE: 50% Pimax, 2d/s. 11 semanas GE: entrenamiento respiratorio hipernea durante 5 semanas, 25 sesiones, 30 min/día, 5 días de la semana, entrenamiento muscular respiratorio	GE: Pimáx +45% y mejoría prueba remo. CC: Pimáx + 5%
			GE: +8 Pimáx. Test 8 km + 26% GP: +3,7 Pimáx. Test 8 KM: 16%
Stunetti et al	28 sujetos ciclistas (13 GE, 15 GC)	GE: 40 sesiones de 30 min. GC: no entrenó EMR: hipernea isocápnic	GE: +5,2 resistencia muscular respiratoria GC: no mostraron mejoras GE: Pimáx + 34% GP: sin cambios
Gething et al	15 sujetos (5 GE, 5 GC, 5 GP)	GE: 80% Pimax, 3 d/s, 10 semanas GP: carga mínima GC: no EMI	GC: sin cambios Todos: sin cambios en VO2 max, ni Wmax Mejoría en prueba time-trial-test

AUTOR	N	MÉTODO	CAMBIOS RENDIMIENTO Y PIMAX
Holm et al	20 sujetos ciclistas (10 GE, 6 GC, 4 GP)	GE: 20 sesiones de 45 min GP: 20 sesiones de 5 min GC: no entrenó	GE: +12% resistencia muscular respiratoria Mejora en VE, VO ₂ y disminución del PCO ₂ Mejora el rendimiento contrarreloj ciclista en un 4,7%
Griffiths et al	17 sujetos remeros (GE: 7 GC: 10)	EMR: hipernea isocápnic Entrenamiento respiratorio 4 semanas + 6 semanas entrenamiento habitual + ER. Pimáx 50%	GC y GP: no mostraron mejoras GE: Pimáx + 26%. Pemáx: 31% No mejoras en test ergómetro remo de 6 min máximo
Aznar-Laint et al	18 sujetos ancianos	GE: entrenamiento respiratorio de 8 semanas (EMI)	El GE mejoró la fuerza de los músculos inspiratorios, el tiempo hasta el agotamiento en una prueba de esfuerzo y el tiempo dedicado a realizar ejercicio moderado o vigoroso.
Dickinson et al	1 atleta JJOO Atenas 2004	GP: 8 semanas simulacro de entrenamiento. Entrenamiento respiratorio hiperpnea de 11 semanas 5 veces por semana. Power Breathe: 60% Pimáx	Pimáx + 31% Reducción tiempo de recuperación entre carreras.
Kilding et al	16 nadadores	Entrenamiento respiratorio umbral 30 repeticiones 2 veces al día 6 semana	Prueba 100 m. Mejora tiempo: -1,7% Prueba 200 m. Mejora tiempo: -1,5% Prueba 400m. Empeora tiempo: +0,6%
Frank et al	26 sujetos con sobrepeso y obesidad (IMC = 31,3)	GE: entrenamiento resistencia hiperpnea normocápmica durante 5 semanas, 30 min + nociones de nutrición durante 6 meses, GC: nociones de nutrición 6 meses	Pérdida de peso similar en ambos grupos (4,2 frente a 3,7 kg P <0.005).
Test de ciclismo: GE mayor distancia recorrida que GC: (1678 frente a 1824 m; P < 0,001). GE: menor percepción de la disnea			

Fuente: González-Montesinos JL, Vaz Pardal C, Fernández Santos JR, Arnedillo Muñoz A, Costa Sepúlveda JL, Gómez Espinosa de los Monteros R. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. Rev Andal Med Deporte. 1 de diciembre de 2012;5(4):163-70.

Conclusiones

El entrenamiento de la musculatura respiratoria mediante el empleo de diferentes dispositivos puede producir mejoras considerables en los valores de presión inspiratoria máxima en un paciente, así como

mejorar de manera efectiva su rendimiento en diferentes actividades físicas, pero sobre todo impactar de manera positiva su calidad de vida, principalmente en aquellos pacientes que han estado sometidos a ventilación mecánica por periodos de tiempo prolongado.

Diferentes estudios han comprobado que el entrenamiento de la musculatura respiratoria puede mejorar significativamente la funcionalidad de los sistemas cardiorrespiratorio y circulatorio, además de mejorar la capacidad aeróbica, disminuir la disnea y facilitar el destete ventilatorio.

La posibilidad de mejorar la condición funcional respiratoria de los pacientes mediante el EMR debe ser valorada proporcionando la atención e importancia que se merece, toda vez que los resultados pueden impactar en la calidad de vida, sobre todo cuando se afectan aquellos factores que contribuyen a la disfunción respiratoria, como la fatiga muscular y la debilidad muscular.

Por lo anterior se recomienda caracterizar y reconocer las situaciones o contextos que favorecen la aparición de estas alteraciones, como, por ejemplo, la estancia en UCI.

Por otro lado, las inconsistencias encontradas en la literatura pueden corresponder a características específicas de los individuos o poblaciones estudiadas, por lo que se recomienda el desarrollo de más investigaciones respecto del EMR para obtener resultados más concluyentes a futuro.

Referencias bibliográficas

1. Levin M. Debilidad [Internet]. Manual MSD versión para profesionales. 2019 [citado 25 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.msd-manuals.com/es/professional/trastornos-neurol%C3%B3gicos/s%C3%ADntomas-de-los-problemas-neurol%C3%B3gicos/debilidad>

2. Rojas-Marcos I. Protocolo diagnóstico de la debilidad muscular. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* [Internet]. 1 de abril de 2019 [citado 25 de enero de 2021];12(76):4515-20. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304541219300927>
3. Berger D, Bloechlinger S, Haehling S von, Doehner W, Takala J, Z'Graggen WJ, et al. Dysfunction of respiratory muscles in critically ill patients on the intensive care unit. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle* [Internet]. 2016 [citado 30 de enero de 2021];7(4):403-12. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jcsm.12108>
4. Hooijman PE, Beishuizen A, Witt CC, de Waard MC, Girbes ARJ, Spoelstra- de Man AME, et al. Diaphragm muscle fiber weakness and ubiquitin- proteasome activation in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 15 de mayo de 2015;191(10):1126-38. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25760684/>
5. Ballve LPD, Dargains N, Inchaustegui JGU, Bratos A, Percaz M de los M, Ardariz CB, et al. Debilidad adquirida en la unidad de cuidados intensivos. Incidencia, factores de riesgo y su asociación con la debilidad inspiratoria. Estudio de cohorte observacional. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva* [Internet]. 2017 [citado 27 de febrero de 2021];29(4). Disponible en: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0103-507X.20170063>
6. Monsalve García A, Astudillo Arias LY, Cruz Mosquera FE. Entrenamiento muscular respiratorio en un paciente neurocrítico con ventilación mecánica prolongada. *Anales de la Facultad de Medicina* [Internet]. abril de 2019 [citado 2 de marzo de 2021];80(2):204-8. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-55832019000200013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
7. Parra Morales AM, García Velásquez MP. Mediciones de presión inspiratoria máxima y presión espiratoria máxima en población enferma [Internet]. 2016 p. 22. Disponible en: https://repository.ces.edu.co/bitstream/10946/2093/2/Caracterizacion_presion_inspiratoria.pdf
8. Mora-Romero U de J, Gochicoa-Rangel L, Guerrero-Zúñiga S, Cid-Juárez S, Silva-Cerón M, Salas-Escamilla I, et al. Presiones inspiratoria y espira-

- toria máximas: Recomendaciones y procedimiento. *Neumol Cir Torax* [Internet]. 2014;73(4):7. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/neumo/nt-2014/nt144e.pdf>
9. Martínez Camacho MÁ, Jones Baro RA, Gómez González A. El fisioterapia en la unidad de cuidados intensivos ¿un profesional necesario? *Acta Médica Grupo Ángeles* [Internet]. 2020;18(1):104-5. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/actmed/am-2020/am201y.pdf>
 10. Pinheiro G, Saldías F. Entrenamiento muscular inspiratorio en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Revista chilena de enfermedades respiratorias* [Internet]. junio de 2011 [citado 3 de febrero de 2021];27(2):116-23. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-73482011000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 11. Pinheiro De C G, Saldías P F. Entrenamiento muscular inspiratorio en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*. junio de 2011;27(2):116-23.
 12. Verkhoshansky Y, Siff M. La fuerza y el sistema muscular. En: *Superentrenamiento* [Internet]. 2.a ed. Badalona, España: Paidotribo; 2010. Disponible en: <http://www.paidotribo.com/pdfs/490/490.0.pdf>
 13. Gutiérrez Muñoz F. Ventilación mecánica. *Acta Médica Peruana* [Internet]. abril de 2011 [citado 27 de febrero de 2021];28(2):87-104. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=SI728-59172011000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 14. Esper RC, Talamantes YG. Evaluación ultrasonográfica del diafragma en el enfermo grave. *Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva* [Internet]. 2014;28(3):187-94. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/medcri/ti-2014/ti143g.pdf>
 15. Campoverde Tixi C. Manual de teoría y métodos del entrenamiento de fuerza en escalada deportiva [Internet]. [Cuenca]: Universidad Politécnica Salesiana; 2010. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1233/15/UPS-CT002016.pdf>

16. Salas-Montaña A, Martínez-Camacho M. Entrenamiento de musculatura inspiratoria en el paciente crítico. *Revista Hospital Juárez de México* [Internet]. 11 de noviembre de 2020;87. Disponible en: 10.24875/RHJM.20000052
17. Arellano Muquinche JN. Efectos de las técnicas fisioterapéuticas de Entrenamiento Muscular Inspiratorio y Buteyko, en niños con asma bronquial [Internet]. [Riobamba]: Universidad Nacional de Chimborazo; 2019. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6298/1/Efectos%20de%20las%20t%C3%A9cnicas%20fisioterap%C3%A9uticas%20de%20Entrenamiento%20Muscular%20Inspiratorio%20y%20Buteyko%2c%20en%20ni%C3%Blos%20con%20asma%20bronquial.pdf>
18. Barreiro E, Gea J, Marín J. Músculos respiratorios, tolerancia al ejercicio y entrenamiento muscular en la EPOC. *Arch Bronconeumol* [Internet]. 20 de noviembre de 2007 [citado 2 de marzo de 2021];43:15-24. Disponible en: <http://www.archbronconeumol.org/es-musculos-respiratorios-tolerancia-al-ejercicio-articulo-13112287>
19. Pastor Esplá E. Estudio comparativo caso control de los cambios nocturnos en la fuerza muscular respiratoria, evaluada mediante métodos no invasivos en pacientes con síndrome de apnea del sueño, y de sus modificaciones a largo plazo tras tratamiento con CPAP [Internet]. [San Juan de Alicante, España]: Universidad Miguel Hernández; 2017. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=110284>
20. Via Clavero G, Sanjuán Naváis M, Menéndez Albuixech M, Corral Ansa L, Martínez Estalella G, Díaz-Prieto-Huidobro A. Evolución de la fuerza muscular en paciente críticos con ventilación mecánica invasiva. *Enferm Intensiva*. 1 de octubre de 2013;24(4):155-66.
21. Morelos Páez OR, León Almanza D, Castillo Cruz C, Caro Pinilla V, Ortega M, Vanegas Ovalle V, et al. Propuesta de un protocolo para el entrenamiento muscular respiratorio al interior de las Unidades de Cuidado Intensivo Fase I [Internet]. [Bogotá, D.C.]: Corporación Universitaria Iberoamericana; 2017. Disponible en: <https://repositorio.iber.edu.co/bitstream/001/416/1/Propuesta%20de%20un%20proto>

colo%20para%20el%20entrenamiento%20muscular%20respiratorio%20al%20interior%20de%20las%20unidades%20de%20cuidado%20intensivo%20fase%20I.pdf

22. Mahler D. Sleep Deprivation Reduces Respiratory Muscle Endurance [Internet]. Dr. Mahler. 2020 [citado 23 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.donaldmahler.com/sleep-deprivation-reduces-respiratory-muscle-endurance/>
23. Briceño V C, Reyes B T, Sáez B J, Saldías P F. Evaluación de los músculos respiratorios en la parálisis diafragmática bilateral. Revista chilena de enfermedades respiratorias [Internet]. septiembre de 2014 [citado 23 de febrero de 2021];30(3):166-71. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-73482014000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
24. Wilches-Luna EC, Sandoval LM, López DJ. Confiabilidad intra e inter evaluador de la medición de la presión inspiratoria máxima (Pimáx) en treinta sujetos sanos de la ciudad de Cali. Rev Cienc Salud [Internet]. 13 de septiembre de 2016 [citado 6 de febrero de 2021];14(3):331-40. Disponible en: <http://revistas.urosario.edu.co/index.php/revsalud/article/view/5141/3511>
25. Rocimex SRL. Monitores Pemáx-Pimáx para medición de presiones bucales [Internet]. 2019 [citado 23 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.rocimex.com.ar/Manometros.htm>
26. Rodríguez Medina CL, Hernández Álvarez ÉD, Guzmán David CA, Ortiz González DC, Rico Barrera AV. Caracterización de las medidas de presión inspiratoria y espiratoria máxima en adultos jóvenes sanos de Bogotá, D.C. Rev Fac Med [Internet]. 30 de marzo de 2016 [citado 23 de marzo de 2021];64(1):53-8. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/47089>
27. Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. Am Rev Respir Dis [Internet]. mayo de 1969;99(5):696-702. Disponible en: 10.1164/arrd.1969.99.5.696

28. Tecnomed, S.L. Espirómetro de sobremesa PONY FX de Cosmed [Internet]. Tecnomed 2000. 2020 [citado 23 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://tecnomed2000.com/producto/espironometro-sobremesa-pony-fx-cosmed/>
29. Guerra Fandiño V. Estudio del patrón respiratorio empleado durante el entrenamiento de los músculos inspiratorios en pacientes con EPOC mediante ecografía [Internet]. [La Coruña, España]: Universidad de La Coruña; 2020. Disponible en: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/26890/GuerraFandino_Veronica_TFG_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y
30. Aqsitania. La innovación en el tele-monitoreo de enfermedades pulmonares crónicas [Internet]. Talence, Francia; 2017 p. 2. Disponible en: <http://www.aqsitania.com/wp-content/uploads/2017/06/Aqsitania-Tele-monitorizacion-de-enfermedades-pulmonares-cronicas-ES-V1.3.pdf>
31. Torres-Castro R, Zenteno D, Rodríguez-Núñez I, Villarroel G, Alvarez C, Gatica D, et al. Guías de Rehabilitación Respiratoria en Niños con Enfermedades Respiratorias Crónicas: Actualización 2016. Neumología Pediátrica [Internet]. 1 de julio de 2016;11:114-31. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305904368_Gui-as_de-Rehabilitacion_Respiratoria_en_Ninos_con_Enfermedades_Respiratorias_Cronicas_Actualizacion_2016
32. Sandoval Moreno LM, Casas Quiroga IC, Wilches Luna EC, García AF. Eficacia del entrenamiento muscular respiratorio en el destete de la ventilación mecánica en pacientes con ventilación mecánica por 48 o más horas: un ensayo clínico controlado. Medicina Intensiva [Internet]. 1 de marzo de 2019 [citado 23 de febrero de 2021];43(2):79-89. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0210569117303418>
33. Pierre Alberto HE, Santos Chávez MA. Presión inspiratoria máxima post entrenamiento de la musculatura respiratoria en estudiantes universitarios de un hospital de Lima [Internet]. [Lima, Perú]: Universidad Norbert Wiener; 2018. Disponible en: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3050/TESIS%20Huamani%20Pierre%20-%20Santos%20Melissa.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

34. Guzmán Sánchez M, Morris Novoa CE. Efectos del entrenamiento con válvula de carga umbral en el rendimiento deportivo en base al tiempo en nadadores competidores [Internet]. [Santiago de Chile]: Universidad Finis Terrae; 2019. Disponible en: http://repositorio.uft.cl/bitstream/handle/20.500.12254/1805/Guzman_Morris_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
35. González Serafini M del C. Dispositivo Threshold IMT para el entrenamiento muscular respiratorio vs. fisioterapia respiratoria convencional en los pacientes que estuvieron internados en la Unidad de Terapia Intensiva Adultos del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias y del Ambiente en la Ciudad de Asunción, año 2014. Rev UN Med [Internet]. 2016;5(1):283-360. Disponible en: <http://investigacion.uninorte.edu.py/wp-content/uploads/2018/07/v05-a05.pdf>
36. Sojo Elías P, Ibáñez Pegenaute A. Fortalecimiento de la musculatura respiratoria en músicos de viento basado en los beneficios proporcionados a los deportistas de competición. Revisión bibliográfica y propuesta de intervención [Internet]. [Navarra, España]: Universidad Pública de Navarra; 2020. Disponible en: https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/38065/Sojo_117268_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y
37. Biolaster S.L. Cómo es el PowerBreathe [Internet]. 2019 [citado 23 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.biolaster.com/productos/POWERbreathe/powerbreathe-medic/descripcion-powerbreathe/>
38. González-Montesinos JL, Vaz Pardal C, Fernández Santos JR, Arnedillo Muñoz A, Costa Sepúlveda JL, Gómez Espinosa de los Monteros R. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. Rev Andal Med Deporte [Internet]. 1 de diciembre de 2012 [citado 2 de marzo de 2021];5(4):163-70. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-efectos-del-entrenamiento-musculatura-respiratoria-X1888754612850261>
39. Bustamante Madariaga V, Gáldiz Iturri JB, Gorostiza Manterola A, Camino Buey J, Talayero Sebastián N, Peña VS. Comparación de 2 méto-

- dos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC. Arch Bronconeumol [Internet]. 1 de agosto de 2007 [citado 13 de abril de 2021];43(8):431-8. Disponible en: <http://www.archbronconeumol.org/es-comparacion-2-metodos-entrenamiento-muscular-articulo-13108782>
40. Cárdenas Aguilar EM, Romero Cabrera KG. Eficacia del entrenamiento muscular inspiratorio preoperatorio para prevenir complicaciones pulmonares en pacientes postoperados de cirugía cardíaca [Internet]. [Lima, Perú]: Universidad Norbert Wiener; 2017. Disponible en: http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/597/T061_4088_3332_S.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20entrenamiento%20preoperatorio%20del%20m%C3%BAsculo,el%20riesgo%20de%20complicaciones%20pulmonares.
 41. Katsura M, Kuriyama A, Takeshima T, Fukuhara S, Furukawa TA. Preoperative inspiratory muscle training for postoperative pulmonary complications in adults undergoing cardiac and major abdominal surgery. Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]. 2015 [citado 2 de marzo de 2021];(10). Disponible en: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD010356.pub2/full/es?cookiesEnabled>
 42. Ram FS, Wellington SR, Barnes NC. Inspiratory muscle training for asthma. Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]. 2003 [citado 6 de abril de 2021];(3). Disponible en: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD003792/full/es?cookiesEnabled>
 43. Silva I, Pedrosa R, Azevedo I, Forbes A, Fregonezy G, Dourado M, et al. Entrenamiento muscular respiratorio en niños y adultos con enfermedades neuromusculares. Cochrane Database of Systematic Reviews 2019 [Internet]. 2019 [citado 2 de marzo de 2021];(9). Disponible en: [/es/CD011711/NEUROMUSC_entrenamiento-muscular-respiratorio-en-ninos-y-adultos-con-enfermedades-neuromusculares](https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD011711/NEUROMUSC_entrenamiento-muscular-respiratorio-en-ninos-y-adultos-con-enfermedades-neuromusculares)
 44. Rodríguez NI, Fuentes SC, Rivas BC, Molina RF, Sepúlveda CC, Zenteño AD. Rehabilitación respiratoria en el paciente neuromuscular: efectos sobre la tolerancia al ejercicio y musculatura respiratoria. Resultado de una serie de casos. Revista chilena de enfermedades respiratorias

[Internet]. diciembre de 2013 [citado 2 de marzo de 2021];29(4):196-203. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-73482013000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

45. González-Montesinos JL, Vaz Pardal C, Fernández Santos JR, Arnedillo Muñoz A, Costa Sepúlveda JL, Gómez Espinosa de los Monteros R. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. Rev Andal Med Deporte [Internet]. 1 de diciembre de 2012 [citado 17 de febrero de 2021];5(4):163-70. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-efectos-del-entrenamiento-musculatura-respiratoria-X1888754612850261>



SECCIÓN 3

Otros aspectos de la **Fisioterapia respiratoria**

Section 3. Other aspects of respiratory physiotherapy



Capítulo 8

Oxigenoterapia

Oxygen therapy

Nicolás Estephen Erazo Velasco

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0002-5137-2141>

✉ nicolas.erazo00@usc.edu.co

Nathali Carvajal Tello

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <http://orcid.org/0000-0002-5930-7934>

✉ nathali.carvajal00@usc.edu.co

Juan Sebastián Valladales Gutiérrez

Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-0189-706X>

✉ juan.valladales@gmail.com

Resumen

Introducción: El presente capítulo comprende una revisión detallada sobre la aplicación de la oxigenoterapia, definida como la aplicación de oxígeno con un fin terapéutico como objetivo en la corrección de la hipoxemia. Esto lo hace mediante la suministración de una concentración suplementaria en la fracción de oxígeno inspirado con el fin de tratar la hipoxemia y reducir el trabajo respiratorio; se tratan las definiciones de hipoxia e hipoxemia, se explican las diferentes indicaciones y criterios que se deben tener en cuenta al momento de administrar oxígeno, así como también, las complicaciones que se pueden generar, las diferentes monitorias que se debe llevar a cabo, además los diferentes sistemas y elementos que son necesarios para

Cita este capítulo / Cite this chapter

Erazo Velasco NE, Valladales Gutiérrez JS, Carvajal Tello N. Oxigenoterapia. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 271-307.

administrar oxígeno. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica de artículos tipo descriptivos, analíticos, experimentales y cuasi experimentales, estudios de casos y controles aleatorizados, revisiones bibliográficas, sistemáticas y metaanálisis, en las bases de datos: ScienceDirect, PubMed, Scielo y Google académico entre los años 2006-2020, en relación con la aplicación de la oxigenoterapia.

Resultados: Se describen aspectos relacionados con el concepto de oxigenoterapia, como las indicaciones, métodos para evaluar oxígeno, elementos para administrar oxígeno, sistemas de bajo flujo y alto flujo, complicaciones de la administración. **Conclusiones:** La oxigenoterapia es la primera opción de tratamiento ante la presencia de hipoxemia de origen pulmonar, que ayuda a mejorar la afinidad de la hemoglobina y puede ser administrado a través de diferentes mecanismos no invasivos según la necesidad de cada paciente. Se espera que tanto los profesionales de la salud como los pacientes, tengan más claridad acerca del manejo de la administración de oxígeno.

Palabras clave: terapia por inhalación de oxígeno, hipoxia, oxigenación.

Abstract

Introduction: This book chapter includes a detailed review on the application of oxygen therapy defined as the application of oxygen for a therapeutic purpose as an objective in the correction of hypoxemia, this is done by supplying a supplementary concentration in the oxygen fraction. Inspired in order to treat hypoxemia and reduce work of breathing, the definitions of hypoxia and hypoxemia will be discussed, the different indications will be explained, criteria that must be taken into account when administering oxygen, the complications that are generated, as well as the different monitoring that must be carried out in addition, to the different systems and elements that are necessary to administer oxygen. **Materials and methods:** A bibliographic review of descriptive, analytical, experimental and quasi-experimental articles, case studies and randomized controls, bibliographic, systematic reviews and meta-analysis was carried out

in the databases: ScienceDirect, PubMed, Scielo, Google academic between the years 2006-2020, in relation to the application of oxygen therapy. **Results:** Aspects related to the concept of oxygen therapy are described, such as indications, methods to evaluate oxygen, elements to administer oxygen, low-flow and high-flow systems, administration complications. **Conclusions:** Oxygen therapy is the first treatment option in the presence of hypoxemia of pulmonary origin, which helps to improve the affinity of hemoglobin and can be administered through different non-invasive mechanisms according to the needs of each patient. It is expected that both healthcare professionals and patients will have more clarity about the management of oxygen administration.

Keywords: oxygen inhalation therapy, hypoxia, oxygenation.

Introducción

En el presente capítulo se dará a conocer el uso de la oxigenoterapia. La oxigenoterapia es la aplicación de oxígeno con un fin terapéutico como objetivo en la corrección de la hipoxemia; esto lo hace mediante la suministración de una concentración suplementaria en la fracción de oxígeno inspirado con el fin de tratar la hipoxemia y reducir el trabajo respiratorio. Se utiliza en personas que presenta fallo respiratorio o una PO_2 por debajo de 60 mmHg; si se presenta una ausencia de oxígeno ocasiona un bloqueo del mecanismo respiratorio provocando un cambio del sistema aeróbico a anaeróbico. El empleo adecuado de la administración oxígeno se basa en los diferentes mecanismos de la hipoxemia y el impacto de la administración de oxígeno en estos pacientes.

Al momento de aplicar oxígeno a un paciente requiere previo estudio sobre el tema, cantidad adecuada de O_2 que requiera la persona y un control, considerando las condiciones en la que se encuentra, o la patología del paciente. El encargado de suministrar oxígeno debe poseer conocimientos suficientes referentes a la oxigenoterapia para lograr los objetivos que se desean, seleccionar los diferentes modos

de administración, observar la respuesta del paciente para así sugerir y establecer cambios apropiados que lo beneficien.

Este capítulo se realiza buscando una revisión de literatura en páginas indexadas con el fin de dar conocimiento sobre el uso de la oxigenoterapia; se tratarán los diferentes temas, entre ellos se encuentran las indicaciones de la oxigenoterapia, tanto en estadio agudo como crónico, concepto de hipoxemia e hipoxia además de los diferentes tipos, los métodos para evaluar el oxígeno tanto invasivos como no invasivos, los elementos necesarios para la administrar oxígeno, también describir los sistemas de bajo flujo así como los sistemas alto flujo, sus ventajas y desventajas, las complicaciones de la administración de oxígeno y por último, la evidencia científica en torno al empleo de oxigenoterapia.

Indicaciones de la oxigenoterapia

Al momento de aplicar oxígeno al paciente, se divide en dos estadios agudo y crónico. Cuando se menciona del estadio agudo tendrá un efecto de prevenir el daño tisular en el cuerpo, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Modificación o cambio de la hemoglobina (Hb) como puede ser la anemia, insuficiencia cardíaca; en estas dos situaciones no hay presencia de hipoxemia.
- Enfermedades que afectan la presión parcial de oxígeno como es el trombo embolismo pulmonar, asma bronquial grave, sepsis.
- El síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) si hay una PaO_2 menor 60 mmHg (1).

Estadio Agudo

En la fase aguda, al aplicar oxigenoterapia el enfoque estará dirigido a manejar la hipoxemia y disminuir el trabajo cardíaco y respiratorio; pero esto también afecta a otros órganos en el cuerpo.

Entre los efectos adversos se encuentra el que se produce sistema respiratorio causando falla respiratoria hipercápnica, que puede relacionarse con enfermedades neuromusculares y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), ocasionando alteraciones en la relación ventilación perfusión (V/Q), ya que durante el mecanismo de la ventilación es probable que se presente hipoxia y vasoconstricción pulmonar.

Estadio Crónico

En la fase crónica, al emplear oxígeno el objetivo es tratar la caída de la presión de oxígeno en la sangre crónicamente, derivada de la enfermedad de base que presente el paciente como en patologías pulmonares crónicas como la bronquitis, el EPOC, la fibrosis pulmonar, enfermedades restrictivas que afectan al pulmón como las distrofias torácicas, cor pulmonares, hipertensión arterial, enfermedades neuromusculares, pulmonar e insuficiencia cardíaca congestiva, entre otras (2).

Conceptos de hipoxemia e hipoxia

A continuación, se presentan los conceptos de hipoxemia e hipoxia:

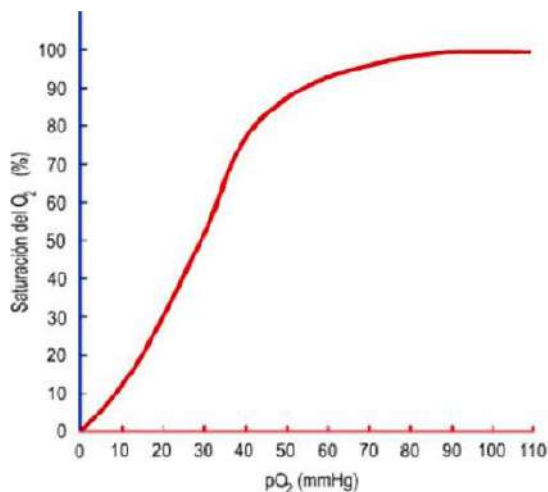
Hipoxemia

Es la disminución de oxígeno en sangre arterial; es interpretada como la insuficiencia respiratoria producida por una disminución del valor en sangre arterial de la presión arterial de oxígeno (PaO_2) a menos de 60 mmHg, con una saturación de oxígeno (SatO_2) menor a 90%. Si la PaO_2 en estos pacientes se encuentran entre los valores 40 y 60 mmHg se considera una hipoxemia importante.

Si ésta cae valores menores a 40 mmHg la alteración es grave y debe temerse que pueda generar daño cerebral y miocárdico. Si la PaO_2 se encuentra en valores menores de 20 mmHg el riesgo de muerte es muy alto. En la figura 92 se presenta la curva de disociación de la he-

hemoglobina por el oxígeno, en donde se observa que a mayor PaO_2 mayor SatO_2 , siendo directamente proporcional.

Figura 92. Curva de disociación de la Hemoglobina por el Oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

Las causas que inducen a la manifestación de la hipoxemia se enumeran a continuación:

- Las grandes alturas provocan una caída de la presión atmosférica que inducen a la disminución en la concentración de oxígeno.
- La hipoventilación alveolar puede originarse por una disfunción del centro respiratorio.
- Por intoxicaciones, traumatismos o malformaciones en los procesos cerebrovasculares.
- El engrosamiento de la membrana alveolar o la ocupación del espacio alveolar dificulta el proceso de la difusión.
- La obstrucción de las vías respiratorias afecta el proceso de conducción de aire hacia el alvéolo y por ende el intercambio gaseoso.
- Anemia.
- SDRA (3).

Hipoxia

Se define como la carencia de oxígeno en las células y tejidos del cuerpo, esto genera la disminución de uno de los elementos imprescindibles en los procesos de producción de energía, cambia su sistema de aeróbico a anaeróbico recurriendo a la producción de adenosín trifosfato (4).

Tipos de hipoxia

Existen diferentes tipos de hipoxia entre las que se encuentran: hipoxémica, anémica, histotóxica e isquémica o circulatoria, por alteración en la de la hemoglobina por el oxígeno y por inadecuada perfusión periférica; a continuación, se describe cada una de ellas:

- **Hipoxia hipoxémica:** Ocasionada por hipoventilación alveolar. PAO_2 baja, difusión alterada, desequilibrio ventilación/perfusión, cortocircuitos (Shunts), exposición a altitud.
- **Hipoxia anémica:** Se origina en la reducción de los niveles de hemoglobina generada por la anemia que conlleva a una hipoxia por reducción del CaO_2 y por tanto del transporte de oxígeno (DO_2) que se encuentra disponible en el cuerpo.
- **Hipoxia histotóxica:** Generado por la incapacidad de la célula para utilizar el oxígeno, disminuye la captación de O_2 por los tejidos debido a envenenamiento, por ejemplo, por intoxicación por cianuro o alcohol.
- **Hipoxia isquémica o circulatoria:** Ocasionado por la reducción del gasto cardiaco que conlleva a que se comprometa el CO_2 , por ejemplo: infarto de miocardio, choque cardiogénico, estasis venoso, síndrome de bajo gasto, parámetros ventilatorios altos o excesivos de ventilación mecánica con presión positiva, cortocircuitos o shunts en donde hay mezcla de sangre arterial con sangre venosa.
- **Hipoxia por trastornos en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno:** Generada por hemoglobinopatías, desviación intensa

de la curva de disociación de la hemoglobina por el oxígeno a la derecha, e intoxicación por monóxido de carbono (CO).

- Hipoxia por inadecuada perfusión periférica: Generada en alteraciones tisulares periféricas en las que el oxígeno no puede ser usado debido a impedimento en la perfusión, por ejemplo, por presencia de placas ateroscleróticas o trombo embolismo pulmonar (5).

Métodos de evaluación de la oxigenación

En la oxigenación existen dos métodos para evaluar la oxigenación entre los que se encuentran no invasivos e invasivos. Los métodos no invasivos no involucran instrumentos que alteren el tejido tegumentario o que penetren físicamente en el cuerpo, en este método no invasivo se incluye la pulsioximetría; dentro de los métodos invasivos se encuentran los gases arteriales.

Métodos no invasivos

El pulsioxímetro tiene dos luces de distintas longitudes de onda, que incurren en el dedo insertado en el dispositivo, llega hasta un fotodetector que cuantifica la absorción de cada longitud de onda ocasionada por la sangre arterial y con esto mide la saturación de oxígeno.

A continuación, en la tabla 17 se describen los aspectos que alteran la medición de la pulsioximetría y en la figura 93 la imagen del pulsioxímetro.

Tabla 17. Factores que alteran la medición de la pulsioximetría.

Movimiento	Cualquier movimiento son causa frecuente de lecturas inadecuadas de la monitoria de la pulsioximetría.
Esmalte de uñas	Los colores oscuros como el negro pueden generar inexactitud en la lectura de la SatO2, a causa de una afectación en la captación lumínica y esto interfiere con las distintas longitudes de onda.
Arritmia cardíaca	Si se presentan trastornos de las señales eléctricas del corazón pueden ser observadas en la oximetría de pulso.
Anestesia	La anestesia residual profunda provoca en la vía respiratoria obstrucción parcial, respiración lenta, descenso del volumen respiratorio, no hay presencia de la tos, todo esto altera la V/Q.
Pigmentación de la piel	En pacientes de raza negra al momento de tomar la prueba varios estudios reportan que se genera un margen de error de +3 a +5%

Fuente: Elaboración propia

Figura 93. Pulsioxímetro.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18, se mencionan las ventajas y desventajas del pulsioxímetro.

Tabla 18. Ventajas y desventajas del Pulsioxímetro.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Monitorización rápida y continua de la SatO2 y de la frecuencia cardíaca.	No aporta el pH que mide la acidez o alcalinidad de la persona o el dióxido de carbono (CO2) del paciente como si lo hicieran los gases arteriales.
Es un método no invasivo.	Algunas enfermedades pueden afectar el resultado como la intoxicación por monóxido de carbono (CO).
No hay presencia de dolor.	Aunque da una lectura rápida puede que el resultado no sea 100% fiable, hay varios factores que pueden alterar el resultado cuando se compara con los gases arteriales.
Portátil, manejable y de bajo costo.	Puede presentarse interferencias con equipos eléctricos o al movimiento del paciente

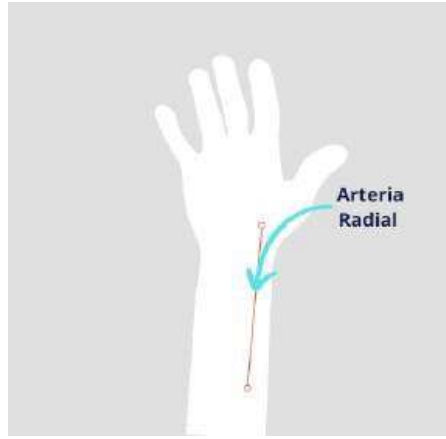
Fuente: Elaboración propia.

Métodos invasivos

La de los gases arteriales es una prueba que permite distinguir el estado ventilatorio, la oxigenación y el estado ácido – base; es la prueba estándar de oro para determinar irregularidades en el intercambio de gases y del equilibrio ácido-base. Se realiza a través de una muestra de sangre arterial. Está indicada en pacientes que presentan una enfermedad crónica o pacientes con enfermedades respiratorias crónicas. Es útil para prescribir el oxígeno que demanda el cuerpo del paciente. Para realizar este tipo de gasometría debe ser tomada una muestra de la arteria radial generalmente lo realiza el personal de enfermería.

La figura 94 muestra el sitio de punción en la arteria radial para la toma de gases arteriales (7).

Figura 94. Sitio de punción toma de gases arteriales.



Fuente: Elaboración propia.

Elementos necesarios para administrar oxígeno medicinal

La administración de oxígeno es una de las soluciones más comúnmente utilizadas para la corrección de una insuficiencia respiratoria, sea esta hipoxémica, hipercápnica o mixta, independientemente de que su revelación sea aguda o crónica agudizada dentro de la misma. En el caso de la insuficiencia respiratoria crónica (IRC) por EPOC, se ha demostrado ampliamente el aumento de la longevidad de las personas que son tratadas con oxígeno (8), y en la insuficiencia respiratoria aguda (IRA), su empleo es ampliamente aceptado desde las primeras décadas del siglo XX (9).

Dentro de algunas guías clínicas (10)(11), se hacen específicos algunos materiales indispensables que, junto con los dispositivos de oxigenoterapia, permiten la correcta administración del oxígeno con un fin terapéutico. No obstante, cabe resaltar que, para el caso del oxígeno domiciliario, solamente el personal médico será el encargado de prescribir el tipo de suministro o fuente de oxígeno, teniendo en cuenta tanto algunos determinantes propios como el tipo de enfermedad, el pronóstico de esta, el nivel de actividad física, como otros

determinantes sociales, entre ellos condiciones del lugar de residencia, cuidador principal y movilidad (12).

A continuación, se realiza la descripción de algunos objetos imprescindibles para la administración de oxígeno terapéutico:

Manómetro y válvula reguladora (manorreductor)

A diferentes formas de fuentes de oxígeno, principalmente al cilindro, se incorpora un manorreductor o válvula reguladora y un manómetro. El segundo cumple la función de ilustrar mediante un sistema de reloj, la presión que hay por dentro de la bala de oxígeno. Por lo general, cuentan con una zona verde, la cual indica que está lleno, y una zona roja que indica que está casi vacía. El primero, tiene como función regular la presión de salida del gas. Es de vital importancia recordar que, en los hospitales, el oxígeno ya llega a las dependencias con la presión reducida, por lo cual no es necesario que el oxígeno de pared cuente con alguno de estos dos instrumentos (10,11,13,14). En la figura 95 se observa, junto al flujómetro del cilindro de oxígeno, el manómetro.

Figura 95. Manómetro y flujómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Flujómetro

El flujómetro es un aditamento que se usa en la fuente de oxígeno, directamente en el mando regulador o válvula reguladora, en el caso de la bala de oxígeno y al oxígeno de pared. Es el encargado de regular la velocidad a la que el gas es administrado (flujo), el cual es expresado en litros por minuto (L/min).

Hay varios tipos de flujómetro, entre los cuales van están los que expresan la velocidad con una aguja o con una bolita de acero. (10, 11, 13,14). En la figura 96, se puede observar el flujómetro de pared utilizado en ambiente intrahospitalario. En la figura 97 se puede identificar el flujómetro que tiene las balas de oxígeno.

Figura 96. Flujómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 97. Manómetro y flujómetro de la bala de oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

Nipléx

Dispositivo que permite la conexión de tuberías a una fuente de oxígeno, de una manera sencilla. Está hecho con base en PVC medicinal. En la figura 98, se aprecia el nipléx, en donde su parte más ancha es ajustada al flujómetro y su parte más angosta, al sistema de administración de oxígeno.

Figura 98. Niplex.



Fuente: Elaboración propia.

Descritos los elementos necesarios para la administración de oxígeno, se procederá a describir las fuentes de oxígeno que incluyen: balas de oxígeno, concentradores y oxígeno de pared.

Fuente de oxígeno

Así es denominado el lugar desde el cual se distribuye y en el cual se almacena el oxígeno. Hay varias formas de almacenar el oxígeno, desde sistemas centralizados en los hospitales, hasta en diferentes equipos domiciliarios. Su acaparamiento se realiza de manera comprimida con el fin de mantener la mayor cantidad posible de oxígeno dentro del dispositivo fuente. Además, cuentan con un flujómetro que regula la velocidad con la que sale el gas y evitar daños en el aparato respiratorio (10).

Balas de oxígeno

Conocidas como balas de oxígeno y cilindros de oxígeno, son cilindros de acero, considerados sistemas estáticos (8), indispensables para pacientes que solicitan flujos de oxígeno bajos y que hagan salidas esporádicas sin el uso de él. Son usualmente utilizados en aten-

ción primaria en caso de no haber toma central o por si el concentrador falla (10). Es la forma de administración más común y de mayor antigüedad en Colombia (11). Al ser almacenados en 200 bares, pueden liberar volúmenes de oxígeno significativos. La tabla 19 muestra la relación del almacenamiento de oxígeno.

Tabla 19. Relación de la capacidad de almacenamiento de oxígeno con el tamaño del cilindro.

TAMAÑO	VOLUMEN
Cilindros grandes	6000 L
Cilindros medianos	3000 L
Cilindros pequeños	1000 L
Cilindros transportadores de aluminio	444 L

Fuente: Elaboración propia.

Cuando este dispositivo se encuentra lleno, el manómetro permite verificar la presión de salida que marca de 1500 a 2000 libras. A medida que se va utilizando el oxígeno dentro de él, esta presión va disminuyendo lentamente.

Esta fuente de oxígeno cuenta con ventajas como la independencia en cuanto al fluido eléctrico, la no contaminación auditiva y la disponibilidad de éste en cualquier parte. En contraste, pueden elevarse si los requerimientos de oxígeno son elevados, ocupan un gran espacio, requieren recambio permanente entre cada 48 a 72 horas, no facilitan el desplazamiento y hay una alta probabilidad de accidentalidad por ser un gas en compresión, por lo que debe manejarse con todas las medidas de precaución, como ajuste adecuado del manómetro a la bala de oxígeno y usar carros con ruedas que faciliten su movilización, como se logra apreciar en la figura 99.

Figura 99. Bala de oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

Concentradores de oxígeno

Es considerado un sistema estático. Es un equipo pequeño, pesa alrededor de 15- 30 kg (10,11). Funciona a partir del aire ambiente, en donde toma el oxígeno y lo separa del nitrógeno, aumentando su concentración hasta un 95%. En la figura 100 se observa un equipo de estos, donde se puede identificar su respectivo flujómetro en la parte frontal.

Este equipo funciona con corriente eléctrica y puede dar un flujo de 5-10L/min, se afirma que al utilizarlos a un flujo por encima de los 3L/min disminuye de manera importante la concentración de oxígeno. Al funcionar con fluido eléctrico, son necesarias solamente las visitas por mantenimiento y no por recambio.

Es considerado un sistema ideal para pacientes que requieren oxigenoterapia nocturna exclusiva. Es efectivo para pacientes oxígeno dependientes si se usa al menos 15 horas al día (incluyendo la noche) y a bajos flujos (1-2 L/min). Sin embargo, la falta de adherencia al mismo

se ve influenciada por los bajos niveles de educación a los usuarios por parte de los profesionales sobre su importancia.

Figura 100. Concentrador de oxígeno Everflo Respironics.



Fuente: www.ortopedicosfuturo.com.

Teniendo en cuenta su dependencia al fluido eléctrico (250-500 w/h), el gasto que incurre su funcionamiento debe ser sufragado por la familia. Además de esto, su flujo está limitado por ser inversamente proporcional a la FiO_2 .

Oxígeno de pared

También conocido como central de oxígeno; es aquel que se usa en los hospitales. En este caso, el gas se almacena en una instalación extra hospitalaria y es suministrado en donde se le solicite a través de tuberías que conectan el tanque central a las diferentes dependencias (13).

Es necesario que, para su uso, sea adaptado un flujómetro como se evidencia en la figura 101.

Figura 101. Flujómetro conectado a oxígeno de pared.



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20, se precisará de forma resumida las características, indicaciones, ventajas, desventajas y costos de cada sistema fuente de oxígeno terapéutico.

Tabla 20. Características sistemas de fuentes de oxígeno.

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS	INDICACIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COSTO
Cilindro	Estático intra/extra hospitalario grandes, pesados y con riesgo de caída	Complemento de fuente fija para asegurar movilidad.	Ausencia de ruido y fluido eléctrico, permite desplazamiento	Renovación constante.	Modera- do
Concen- trador	Estático extra hospi- talar. Ocupa menos espacio, ideal para oxígeno nocturno.	Paciente con mo- vilidad reducida y necesidad de flujos bajos.	No es neces- aria constante renovación (solo manteni- miento).	FiO2 y flujos inversos, ruido- so, no permite desplazamiento	Bajo
Oxígeno de pared	Estático intra hospi- talar	Pacientes institu- cionalizados	Baja presión, altos flujos	Fuente estática	Alto

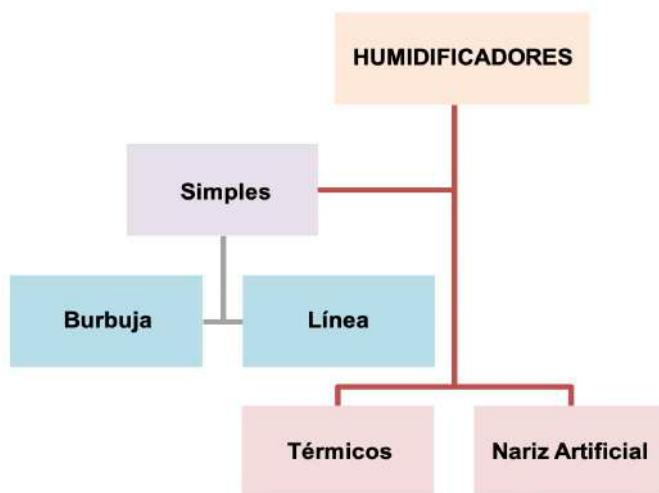
Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de humidificación

Dentro de condiciones fisiológicas, la zona de saturación isotérmica ubicada 5 cm más allá de la carina, es el sitio dentro del cual el aire es acondicionado para su intercambio, añadiéndose vapor de agua por evaporación y temperatura por convección; el aire es preparado con una humedad absoluta de 48 mg/ml y alcanza una temperatura alveolar de 37°C una humedad relativa del 100%. Es importante recordar que, si un gas es inspirado a menos de 37°C y es calentado en la vía aérea, contribuirá a que las secreciones se deshidraten y se espesen. Es aquí donde está la importancia de acondicionar el aire antes de entrar en la vía aérea.

El humidificador es entonces un elemento que se encarga de brindar la humedad solicitada a los gases que el paciente respira. Se identifica como un recipiente, lleno un poco más de la mitad de su capacidad por agua estéril y que se ubica interpuesto en el sistema de oxígeno o de ventilación del paciente. En la figura 102, se puede observar su clasificación.

Figura 102. Clasificación de los humidificadores.



Fuente: Elaboración propia.

Humidificadores simples

Se consigue cuando el gas pasa a través del agua dentro del recipiente. A su vez podemos diferenciar dos tipos, de burbuja y de línea. En el primero, humidificador de burbuja, más utilizado por cierto, el gas pasa por debajo del agua y esto permite que las burbujas lleguen a la superficie, lo que aumenta el área de la superficie y el tiempo de contacto, incrementando directamente su eficacia.

En el segundo, humidificador de línea, el aire pasa por la superficie del agua y se dirige al paciente, teniendo una baja eficacia por la disminución de tiempo y superficie de contacto. En la figura 103 se observa el humidificador de burbuja.

Figura 103. Humidificador de burbuja.



Fuente: Elaboración propia.

Térmicos

Funcionan de tal manera que al elevar la temperatura del agua aumentan su evaporación, siendo directamente proporcional el au-

mento de la capacidad del gas de llevar vapor de agua al pasar por el humidificador. Son los humidificadores de elección cuando se utilizan flujos altos, en especial durante el uso de los ventiladores mecánicos. El más empleado es la cascada tipo Bennett.

Nariz Artificial

Distinguida como intercambiador de calor y humedad (HCH), simboliza la solución con menor riesgo beneficio en cuanto a contaminación bacteriana y más accesible. Siendo ideal para periodos cortos, se utiliza durante la ventilación mecánica invasiva, pues se asocia la aparición de secreciones espesas a largo plazo. En la figura 104 se logra evidenciar el humidificador tipo nariz artificial.

Figura 104. Nariz artificial



Fuente: Elaboración propia

Por último, es relevante concluir que cuando los pacientes necesiten de dispositivos que proporcionen flujos por debajo de 4L/min, no se precisará agregar humidificación a sus sistemas de oxigenoterapia, ya que, además de añadir un costo de más, presentan fugas de oxígeno y aumenta el riesgo de la contaminación bacteriana.

Las posibles situaciones que ameritan la humidificación son: paciente con traqueostomía o intubación traqueal y pacientes que mantienen la vía aérea natural que requieren flujos altos. La British Thoracic Society (BTS) dice que no es necesario el uso de humidificador con oxígeno en casa; en caso tal de presentar molestia en vía aérea superior, es preferible adecuar el aire ambiente y aplicar suero fisiológico nebulizado (evidencia C) (15).

Dispositivos de oxigenoterapia

Definidos los elementos y aditamentos necesarios para la administración de oxígeno terapéutico, es necesario describir los sistemas mediante los cuales él mismo llegará directamente a la vía aérea del paciente. En esta ocasión se mencionan los sistemas no invasivos. Grosso modo, estos pueden ser clasificados como sistemas de bajo flujo y sistemas de alto flujo descritos en la tabla 21. Dentro de los sistemas de bajo flujo se puede identificar la cánula nasal, la máscara simple y la máscara de no reinhalación, mientras en los sistemas de alto flujo se reconoce la máscara Ventury.

Tabla 21. Sistemas de administración de oxígeno terapéutico.

ALTO FLUJO	BAJO FLUJO
Máscara Ventury	Cánula nasal
	Máscara simple
	Máscara de no reinhalación

Fuente: Elaboración propia

La principal diferencia entre ambos sistemas radica en el principio que utiliza para su función y la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) que aporta cada uno.

Para el caso de los sistemas de alto flujo, se pueden definir como aquellos en los cuales el flujo de oxígeno y la capacidad del reservorio son

suficientes para suplir el volumen minuto que requiere el paciente ($\text{Volumen corriente} \times \text{Frecuencia respiratoria}$).

Los sistemas Ventury que son los más utilizados, funcionan a través del principio de Bernoulli (figura 105) el cual indica que un flujo gaseoso de alta velocidad por un conducto estrecho produce una presión subatmosférica lateral a la salida del conducto (tal como ocurre en el proceso de inspiración o entrada de aire a los pulmones) lo que facilita la entrada de aire atmosférico a dicho conducto. En este orden de ideas, se puede concluir que, al variar el tamaño del orificio, se podrá cambiar la FiO_2 administrada al paciente.

Figura 105. Efecto Bernoulli.



Fuente: Asociación Colombiana de Neumología Pediátrica. Oxigenoterapia. 2010.

Los sistemas de bajo flujo son aquellos en los cuales el sistema no es capaz de suministrar la totalidad del volumen-minuto que pueda requerir un paciente, solo parte del volumen corriente inspirado por el paciente. Pueden administrar una concentración de oxígeno que va desde el 21% hasta el 100%; esta variará según el flujo inspiratorio, la ventilación por minuto y los cambios en el flujo del oxígeno.

A continuación, en la tabla 22 se presentan las características de los sistemas.

Tabla 22. Características de los sistemas de alto y de bajo flujo.

ALTO FLUJO	BAJO FLUJO
Proporcionan un FiO_2 estable.	El FiO_2 proporcionado no es exacto y varía por el patrón y esfuerzo respiratorio del paciente.
La concentración de oxígeno, suministrada puede ser alta o baja.	Proporcionan concentraciones de 24% a 100%.
A flujos bajos, no es necesario humidificador (hasta 30%)	Parte del volumen corriente proviene del aire atmosférico.
Funcionan bajo el principio de Bernoulli.	Suministra un % de oxígeno variable.

Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de alto flujo

Máscara ventury

Dentro de los sistemas de alto flujo no invasivos, el dispositivo más utilizado es la máscara ventury (figura 106). Sobre su funcionamiento solo queda especificar que para facilitar el control sobre la FiO_2 suministrada por el mismo, el fabricante identifica con colores diferentes el tamaño de su orificio.

En resumen, en la tabla 23 se puede asociar la FiO_2 suministrada, con el color y con el respectivo flujo necesario.

Figura 106. Máscara ventury.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Relación entre Flujo de oxígeno en Litros por Minuto, FIO₂ y color.

FLUJO L/MIN	F _i O ₂ %	COLOR
4	24%	Azul
4	28%	Amarillo
6	31%	Blanco
8	35%	Verde
10	40%	Rosado
12	50%	Naranja
15	60%	Rojo

Fuente: Elaboración propia

Sistemas de bajo flujo

Dentro de los sistemas de bajo flujo, en orden de flujo necesario para la administración del oxígeno se puede encontrar:

Cánula nasal

Es el sistema de bajo flujo más utilizado. Consiste en una cánula con dos conductos adaptados a cada orificio nasal (se observa en la figura 107). Tiene la gran ventaja de permitir la alimentación mientras se está administrando el oxígeno terapéutico. Está indicada en pacientes con enfermedad aguda o crónica con hipoxemia leve o recuperación posanestésica. Siendo un dispositivo de bajo flujo no es recomendable usar flujos superiores a 5L/min debido a que pueden ocasionar resequedad e irritación. La FiO_2 máxima suministrada es de 40% distribuyéndose como se muestra en la tabla 24.

Figura 107. Cánula nasal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Relación de flujo y FiO_2 estimado por cánula nasal.

FLUJO EN LITROS POR MINUTO	FiO_2 ESTIMADO
1	24%
2	28%
3	32%

FLUJO EN LITROS POR MINUTO	FiO2 ESTIMADO
4	36%
5	40%

Fuente: Elaboración propia

En pediatría, en patologías como la bronquiolitis, es la primera opción para la corrección de la hipoxia a pesar de tener a la mano herramientas como el oxígeno humidificado de alto flujo, puesto que este último no muestra evidencia sobre el proceso de la enfermedad subyacente de la bronquiolitis moderadamente grave. Sin embargo, se puede hacer escalonamiento a una cánula nasal de alto flujo previo al uso de presión positiva continua en vía aérea nasal (nCPAP) en caso tal de que no haya un soporte adecuado por parte de la cánula nasal de bajo flujo.

Máscara Simple

La máscara simple es un dispositivo que consta de una mascarilla que cubre nariz y boca, se ajusta a través de la cinta trasera y el pasador metálico delantero (figura 108). Posee orificios laterales que permiten la salida de aire durante la espiración y que dificultan la entrada de aire durante la inspiración. Al funcionar con flujos de 5-8 L/min, proporciona una FiO₂ aproximada de 40%-60%, dependiendo del patrón respiratorio del paciente. En la tabla 25, se puede apreciar la FiO₂ aproximada con su respectivo flujo.

Figura 108. Máscara Simple.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Relación del flujo y FiO₂ estimado por máscara simple.

FLUJO EN LITROS POR MINUTO	FiO ₂ ESTIMADO
5-7	40%
7-8	50%
8-10	60%

Fuente: Elaboración propia.

Máscara de no reinhalación

Es el principal dispositivo de uso extrahospitalario para pacientes poli traumatizados, con edema de pulmón, intoxicados por monóxido de carbono, entre otras. Consta de una bolsa entre la fuente de oxígeno y la máscara que se pone el paciente, con el fin de mantener una reserva constante de oxígeno (figura 109).

Figura 109. Máscara de no - reinhalación.



Fuente: Elaboración propia.

Posee dos válvulas unidireccionales, la primera se encuentra en el codo de unión de la bolsa con la máscara, la cual se abre ante la disminución de la presión intrapulmonar (inspiración). Del mismo modo, al aumentar la presión intrapulmonar ésta se cierra y abre las válvulas espiratorias de la mascarilla. De este modo, se bloquea la mezcla de aire ambiente con el oxígeno en la bolsa de reservorio. Al funcionar con flujos de 10 a 15 L/min, permite suministrar una FiO₂ de 60-100%.

En la tabla 26, se presenta un breve resumen correspondiente a características, flujos, ventajas y desventajas de cada sistema de bajo flujo.

Tabla 26. Características ventajas y desventajas de los sistemas de bajo flujo.

DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	FIO2	FLUJO (L/min)
Cánula nasal	Interface de administración más sencilla. Consta de dos puntas que se adaptan a cada fosa.	Permite hablar, comer, dormir, expectorar sin interrumpir administración de O2. Bajo costo	FiO2 impredecible, eficacia disminuye en respiraciones bucales. Altos flujos producen resequedad	24-40%	1 a 5 Lpm

DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	FIO ₂	FLUJO (L/min)
Máscara simple	Abarca nariz y boca, permite espiración a través de orificios laterales	Permite transporte en urgencias leves y FiO ₂ más altas	FiO ₂ impredecible, dificulta alimentación y comunicación oral.	40-60%	5 – 10 Lpm
Máscara con reservorio	Permite concentraciones altas de O ₂ , posee bolsa de 1 L que permite almacenar O ₂ puro entre fuente y paciente. Posee válvulas unidireccionales	Permite concentraciones de O ₂ altas y administración de gases anestésicos	Facilita proliferación de bacterias ante humedad, dificulta comunicación oral, alimentación y expectoración.	60 - 100%	10 – 15 Lpm

Fuente: Elaboración propia

Complicaciones de la oxigenoterapia

La oxigenoterapia al ser un procedimiento médico debe utilizarse sólo si está indicado y en las dosis adecuadas para evitar o corregir la hipoxemia. Por tal motivo, es responsabilidad de los profesionales en salud a cargo de la administración de oxígeno realizar una correcta prescripción de este, así como realizar el proceso de destete de oxígeno en cuanto sea posible.

El riesgo para el uso del oxígeno pueden ser los derivados directamente de su uso y los derivados del almacenamiento y manipulación errónea de este (9). En el neonato, por ejemplo, Luna Et al mencionan que en el estudio de Northway se concluyó que una FiO₂ de 0,8 y 1,0 en pacientes neonatos se asociaba al desarrollo de displasia broncopulmonar (DBP).

Se conoce también que el uso de los suplementos de oxígeno podría alterar la sensibilidad de los quimiorreceptores y aumentar el periodo de latencia de la respuesta ventilatoria ante los cambios de presión de O₂. Ya los relacionados con la manipulación incluyen el riesgo de inflamación de materiales y quemaduras en fosas nasales por flujos altos en cánula (niños superiores a 3L/min). A continuación, se des-

criben algunas de las complicaciones más frecuentes asociadas a la oxigenoterapia.

- **Atelectasia por absorción:** Se produce un desplazamiento del nitrógeno por concentraciones elevadas de O_2 . El incremento de O_2 en los alvéolos se difunde más rápidamente al capilar, provocando un colapso alveolar.
- **Hipoventilación inducida por el oxígeno:** Concentraciones elevadas de oxígeno en aquellos que conviven con hipoxia crónica como pacientes con EPOC, pueden llevar a que se produzca disminución en la profundidad de la respiración ocasionando una hipoventilación. A su vez, el disminuir la ventilación produce un aumento en los niveles de CO_2 haciendo que se disminuya el estímulo para respirar. Por lo tanto, el rango de $SatO_2$ que deben manejar este tipo de pacientes es entre 88 – 92% para mantener el estímulo respiratorio asociado a la hipoxemia crónica.
- **Toxicidad al oxígeno:** El uso inadecuado o en exceso a nivel pulmonar puede causar: edema alveolar, fibrosis, hemorragia intra alveolar, congestión pulmonar, formación de membrana hialina.
- **Retinopatía del prematuro:** El O_2 alto ocasiona vasoconstricción en la retina, los vasos se colapsan y el crecimiento de la retina se detiene en la periferia, lo que podría causar ceguera parcial o total. Por lo tanto, los ojos del recién nacido que utiliza oxígeno, como medida de prevención deben ser vendados para evitar la llegada del oxígeno a la retina.

Evidencia científica de la oxigenoterapia

Alonso et al, realizaron una aplicación de oxigenoterapia de alto flujo en cinco niños, de edad de 2 a 13 meses, todos con peso inferior a 7 kg; la implementación se realizó en el área de cuidados moderados del Hospital Pediátrico del Centro Hospitalario Pereira Rossell, se excluyeron los niños con, PCO_2 60, acidosis mixta, compromiso de conciencia y/o hemodinámica inestable. El protocolo de oxigenoterapia se basó en la administración inicial de oxígeno a 8-10 l/min con una FiO_2

de 0,6. A los 20 minutos de iniciada la oxigenoterapia de alto flujo y de acuerdo con la respuesta observada, se inicia el descenso progresivo de la FiO₂ hasta lograr una saturación de oxígeno mayor o igual a 95%, la respuesta al tratamiento se valoró con score de Tal modificada; se observó mejoría del score de Tal a las 2 h (2015) (17).

Frat et al, realizaron un ensayo multicéntrico, abierto, en el que se asignaron al azar a pacientes sin hipercapnia que tenían insuficiencia respiratoria hipoxémica aguda; se incluyó un total de 310 pacientes en los análisis. La tasa de intubación (resultado primario) fue 38% (40 de 106 pacientes) en el grupo de alto flujo de oxígeno, 47% (44 de 94) en el grupo estándar y 50% (55 de 110) en el grupo de ventilación no invasiva. El número de días sin ventilador el día 28 fue significativamente mayor en el grupo de alto flujo de oxígeno (24 ± 8 días, frente a 22 ± 10 en el grupo de oxígeno estándar y 19 ± 12 en el grupo de ventilación no invasiva). Hubo una diferencia significativa a favor del oxígeno de alto flujo en la mortalidad a los 90 días (18).

Mejía et al, llevaron a cabo un reporte de caso de oxigenoterapia COVID-19 donde se define el tratamiento con oxígeno suplementario. En los casos de hipoxia leve se recomienda la cánula nasal. Cuando hay mayor compromiso de la PaO₂/FiO₂, se ha propuesto la cánula de alto flujo (usando una máscara para evitar la propagación de aerosoles), como una herramienta que puede retrasar y prevenir la necesidad de intubación orotraqueal y el uso de ventilación mecánica invasiva; la cánula de alto flujo, es bien tolerada, reduce el trabajo respiratorio, ayuda a prevenir la intubación, es ideal en caso de no tener ventiladores disponibles y cuando los métodos de oxígeno suplementario sean insuficientes para lograr las metas de saturación de oxígeno (19).

Caudevilla et al, en una revisión bibliográfica sobre tratamiento con oxigenoterapia de alto flujo limitado en 10 años, obtuvieron un total de 72 artículos. Como conclusión la oxigenoterapia de alto flujo es una opción terapéutica útil en pacientes con exacerbación asmática, especialmente en crisis moderada-grave (20).

Conclusiones

En este capítulo del libro se socializaron conceptos como la oxigenoterapia, las indicaciones de esta cuando el déficit es por una condición aguda o crónica agudizada. Además, se recordaron conceptos tales como la diferencia entre hipoxemia e hipoxia y la curva de disociación oxígeno hemoglobina, de importancia trascendental, a la hora de analizar la saturación del oxígeno en los pacientes con síntomas respiratorios.

Así mismo, se indagó sobre la variedad de herramientas a la mano del fisioterapeuta y profesional de la salud que emplea oxigenoterapia, para corregir dichas condiciones en la medida de lo posible de manera no invasiva, y los principios físicos por los cuales dichas herramientas cumplen su función. Se espera que el capítulo desarrollado sea un instrumento útil para los profesionales de la salud que emplean oxígeno en sus pacientes para una adecuada prescripción, brindando aspectos de seguridad.

Referencias bibliográficas

1. Rodríguez L. Tratamiento con oxígeno en el medio hospitalario. Indicaciones y manejo de la oxigenoterapia. Condes aragon, Zaragoza. Neumología y salud SL. 2013. Disponible en: <https://neumologiaysalud.es/>
2. Luna Paredes MC, Asensio de la Cruz O, Cortell Aznar I, Martínez Carrasco MC, Barrio Gómez de Agüero MI, Pérez Ruiz E, et al. Fundamentos de la oxigenoterapia en situaciones agudas y crónicas: indicaciones, métodos, controles y seguimiento. *An Pediatr (Barc)*. 2009;71(2):161-74.. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2009.05.012>
3. Gutiérrez Muñoz FR. Insuficiencia respiratoria aguda. *ScieLoperu* [Internet]. 2010 Oct [citado 2021 Mayo 09]; 27(4): 286-297. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172010000400013&lng=es.

4. Longo L, Fauci A. S, Kasper D.L., Hauser S.L.. Hipoxia y cianosis. Harrison principios de medicina interna (18th ed., pp. 287-290). New York, United States 2016. [citado 1 abril del 2022] Disponible en: <https://dial-net.unirioja.es/>
5. Crosara D. Alteraciones agudas del metabolismo del oxígeno. Rev Mex Anest. 2015. [citado 1 abril del 2022] Disponible en: <https://www.medi-graphic.com/>
6. Rojas-Pérez EM. Factores que afectan la oximetría de pulso. Rev Mex Anest. 2006; 29 (Suppl: 1):193-198. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/>
7. Cortés-Telles A, Gochicoa-Rangel LG, Pérez-Padilla R, Torre-Bouscoulet L. Gasometría arterial ambulatoria. Recomendaciones y procedimiento. Neumol. cir. tórax [revista en Internet]. 2017 Mar [citado 9 mayo del 2021];76(1):44-50. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0028-37462017000100044&lng=es.
8. Mangas A, Villasante C, García-Quero C, Vives T. Tratamiento de la insuficiencia respiratoria. Medicine. 2018;12(66):3879–86 [citado 1 abril del 2022] DOI: <https://doi.org/10.1016/j.med.2018.10.022>
9. Paredes L et al. Fundamentos de la oxigenoterapia en situaciones agudas y crónicas. Indicaciones, métodos, controles y seguimientos. Anales de pediatría. 2009; 71 (2). 161-174 [citado 1 abril del 2022]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2009.05.012>
10. Arraiza N. Guía y poster de dispositivos de oxigenoterapia. Universidad Pública de Navarra. 2014-2015. [citado el 1 abril del 2022]. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/18478>
11. Asociación Colombiana de Neumología Pediátrica. Oxigenoterapia. ACNP. 2010. [citado el 1 abril del 2022] Disponible en: <https://issuu.com/acnp/docs/oxigenoterapia1/17>
12. Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica. Guía para pacientes con oxigenoterapia. SEPAR. 2014-2015. [citado 1 abril del 2022]. Disponible en: <https://www.separ.es/node/191>

13. Álvarez I, Arteaga x. La oxigenoterapia en urgencias. Zona TES. 2013; 1(2):68-72. Disponible en: <http://www.zonates.com/es/revista-zona-tes/menu- revista/numeros-anteriores/vol-2--num-2--abril-junio-2013/articulos/la-oxigenoterapia-en-urgencias.aspx>
14. Ministerio de Salud de Colombia. Recomendaciones para el uso del oxígeno. MINSALUD. 2016. [citado 1 abril del 2022] Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/PSSS03.pdf>
15. Rodríguez J, López S, Sánchez G, de Lucas P. Humidificación del aire inspirado y oxigenoterapia crónica domiciliaria. Revista de patología respiratoria; 2011. 14(2):49-53. [citado 1 abril del 2022]. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1576-9895\(11\)70107-2](https://doi.org/10.1016/s1576-9895(11)70107-2)
16. Keperotes E et al. High flow warm humidified oxygen versus standard low-flow nasal cannula oxygen for moderate bronchitis (HFWHO RCT): an open, phase 4, randomised controlled trial. Lancet- 2017;389(17): 929-939. [citado 1 abril del 2022]. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)30061-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)30061-2)
17. Alonso B, Tejera J, Dall'orso P, Boulay M, Ambrois G, Guerra L et al. Oxigenoterapia de alto flujo en niños con infección respiratoria aguda baja e insuficiencia respiratoria. Arch. Pediatr. Urug. [Internet]. 2012 Jun [citado 2021 Mayo 09]; 83(2): 111-116. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-12492012000200006&lng=es.
18. Frat J-P, Thille AW, Mercat A, Girault C, Ragot S, Perbet S, et al. High-Flow Oxygen through Nasal Cannula in Acute Hypoxemic Respiratory Failure. New England Journal of Medicine. 2015;372(23):2185-96. [citado 1 abril del 2022]. DOI: <https://doi.org/10.1056/nejmoa1503326>
19. Mejía-Zuluaga M, Duque-González L, Orrego-Garay MJ, Escobar-Franco A, Duque-Ramírez M. Oxigenoterapia en COVID-19: herramientas de uso previo a la ventilación mecánica invasiva. Guía simple. CES Med [Internet]. 12 de junio de 2020 [citado 9 de mayo de 2021];34:117-25. DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmedicina.34.covid-19.16>

20. Caudevilla Lafuente. Tratamiento con oxigenoterapia de alto flujo en pacientes pediátricos con crisis de asma. Hospital Miguel Servet(inter-net) Vol. 50, N°. 2 (Mayo-Agosto), 2020, págs. 77-84. [citado 1 abril del 2022] Disponible en:<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7617259>

Capítulo 9

Aerosolterapia

Aerosol therapy

José Julián Bernal Sánchez

Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-9708-8536>

✉ jose.bernal00@usc.edu.co

Resumen

Introducción: La aerosolterapia es una estrategia de intervención importante en diversas enfermedades pulmonares. Esta técnica busca depositar una dosis reproducible y adecuada de un medicamento específico en las vías respiratorias, con el objetivo de lograr un efecto clínico local y/o sistémico, así como minimizar el impacto negativo de los efectos secundarios de estos fármacos que podrían llegar a ser graves. Para lograr este objetivo terapéutico, es importante conocer y disponer de un dispositivo de inhalación eficiente y seguro que permita administrar diferentes medicamentos de acuerdo con la necesidad específica. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica actualizada de artículos relacionados con aerosolterapia en las bases de datos como ScienceDirect, Elsevier, Pedro, PubMed, Scielo, Google Academic, entre los años 2011-2021. **Resultados:** Varios estudios que comparan la eficacia clínica de diferentes dispositivos de inhalación han demostrado que la elección de un dispositivo de in-

Cita este capítulo / Cite this chapter

Bernal Sánchez JJ. Aerosolterapia. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 309-341.

halación óptimo es crucial. Además de las características del aerosol, los parámetros de ventilación y la morfología de las vías respiratorias tienen una influencia importante en los patrones de deposición. Estos parámetros pueden estar muy influenciados por la aceptación por parte del paciente de un dispositivo de inhalación específico y, por lo tanto, determinan la elección del dispositivo utilizado. **Conclusiones:** Es importante para el impacto clínico conocer el mecanismo de funcionamiento de los dispositivos de inhalación más eficientes y seguros para los pacientes. En este capítulo se realiza una descripción general de los dispositivos y técnicas de aplicación durante la administración de aerosoles.

Palabras clave: Propelentes de aerosoles, aerosoles, administración por inhalación.

Abstract

Introduction: Aerosol therapy is an important interventional strategy in various pulmonary diseases. This technique seeks to deposit a reproducible and adequate dose of a specific drug in the airways, with the aim of achieving a local and/or systemic clinical effect as well as minimizing the negative impact of the side effects of these drugs that could become serious. To achieve this therapeutic objective, it is important to know and have an efficient and safe inhalation device, that allows the administration of different drugs according to the specific need. **Materials and methods:** An updated bibliographic review of articles related to aerosol therapy was performed in databases such as ScienceDirect, Elsevier, Pedro, PubMed, Scielo, Google Academic, between the years 2011-2021. **Results:** Several studies comparing the clinical efficacy of different inhalation devices have shown that the choice of an optimal inhalation device is crucial. In addition to aerosol characteristics, ventilation parameters and airway morphology have an important influence on deposition patterns. These parameters may be strongly influenced by the patient's acceptance of a specific inhalation device and therefore determine the choice of device

used. **Conclusions:** It is important for clinical impact to know the mechanism of operation of the most efficient and safest inhalation devices for patients. In this chapter a general description of the devices and application technique during the administration of aerosols is given.

Keywords: Aerosol propellants, aerosols, administration inhalation.

Aerosolterapia

Definición

Un aerosol se define como una suspensión de líquido o sólido en un medio gaseoso (1).

Los aerosoles existen en todos los lugares donde existe un gas para respirar. Desde el polen y las esporas hasta el humo y la contaminación, pasando por los productos químicos artificiales. Dentro de la categoría de aerosoles se incluye cualquier líquido fino o partículas sólidas.

En la práctica médica, un aerosol es cualquier suspensión de líquido o partículas sólidas de fármaco distribuidas a través de un gas. El sistema respiratorio permite la filtración y eliminación que deben superarse o evitarse en el proceso de suministro local de medicamentos al pulmón.

Los métodos para generar aerosoles, formular fármacos y administrar medicamentos de forma eficaz en el lugar de acción deseado constituyen la ciencia de la administración de fármacos en aerosol y también es conocido como **aerosolterapia o terapia de aerosoles**.

Para una aerosolización exitosa, se requiere conocer las condiciones del sistema de aerosoles. El sistema de aerosoles incluye el medicamento, el dispositivo de aerosol (mecanismo), el sitio diana y el siste-

ma respiratorio del paciente, así como también el condicionamiento de factores externos como el ventilador mecánico y sus variables de funcionamiento.

Historia

El uso de aerosol terapéutico fue propuesto por primera vez por los antiguos egipcios, que se remonta a ≈ 1554 a.C., calentando hojas de una planta específica e inhalando vapores producidos durante el proceso de calentamiento (figura 110).

Abu'Ali al-Husayn ibn Sina describió el uso del opio para una variedad de enfermedades, incluyendo tos severa asociada al consumo de tabaco. Hipócrates (460-377 a.C.) usó una olla con un agujero en la tapa para emitir varios vapores en el manejo de enfermedades respiratorias. Galeno de Pérgamo, usó medicamentos inhalados en polvo para tratar enfermedades nasales y torácicas.

Figura 110. Representación esquemática antigua de aerosolterapia a través de plantas (c.1554 BC).



Fuente: DOI: 10.1089/jamp.2016.1297(Stein & Thiel, 2017)(2).

Se demostró que los remedios de Ma Huang, utilizados por los chinos hace 5000 años, contenían efedrina, que demostró ser un tratamien-

to eficaz para el asma. En 1885, el químico japonés Nagayoshi Nagai continuó usando efedrina para el manejo de la tos y otras enfermedades respiratorias.

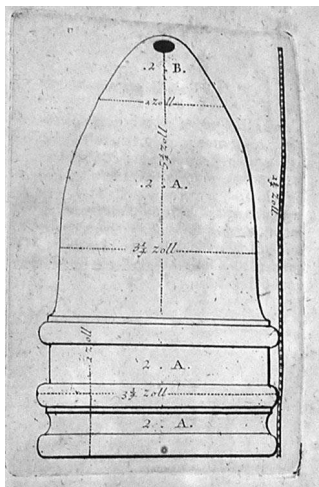
En el primer siglo d.C., fumar *Datura* se consideraba una práctica terapéutica para tratar el asma. La inhalación de vapor para tratar episodios asmáticos fue una técnica introducida por el médico romano Cayius Aurelianus durante los siglos V a VI d.C.

Desde la caída de Roma (476 d.C.) hasta el comienzo de la revolución industrial (1760 d.C.), no hubo avances sobresalientes en los dispositivos de inhalación y administración de aerosoles, y la gente siguió confiando en técnicas descritas anteriormente. Rhazes, médico árabe que vivió en Bagdad desde 850 hasta 932 d.C., describió el uso de arsénico para tratar enfermedades respiratorias usando una esponja mojada con la sustancia y colocada en la boca y la nariz del paciente.

La inhalación de aerosoles terapéuticos fue cambiada dramáticamente por Maimónides (1138-124 d.C.), que trabajaba para Saladino, el sultán de Egipto (1137 o 1138-1193 d.C.). Propuso inhalar humos de hojas quemadas de hierbas.

A Christopher Bennet, un médico inglés, se le atribuye la descripción del dispositivo de inhalación más antiguo conocido (figura 111).

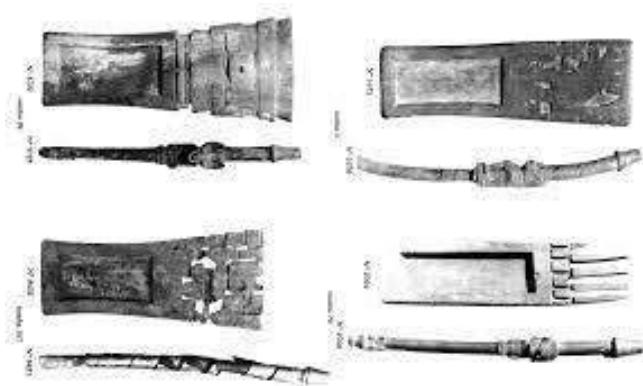
Figura 111. Inhalador terapéutico antiguo por Christopher Bennet (1654).



Fuente: DOI: 10.1089/jamp.2016.1297 (2)

En Latinoamérica, se ha registrado el uso de drogas inhaladas que data de la época precolombina y fue encontrado en Arica: Los indígenas raspaban hojas, hacían rapé con tabaco u otras yerbas y lo aspiraban mediante un tubo (figura 112).

Figura 112. Tabla de Rapé.



Fuente: Estudios Atacameños No 9, pp. 67-106 (1988. El complejo psicotrópico en Solcor 3 (San Pedro de Atacama) (3)

Los nebulizadores y los inhaladores de polvo seco (IPS) se introdujeron con el surgimiento de la revolución industrial en 1760. Los médicos ingleses Philip Stern y John Mudge describieron varias técnicas y dispositivos de inhalación dirigidos al público en general (figura 113).

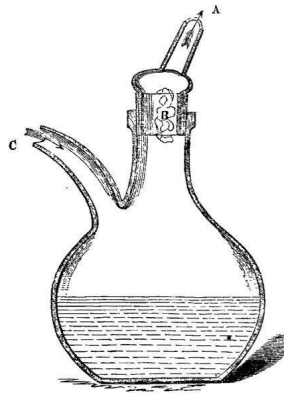
Figura 113. Inhalador de Mudge



Fuente: DOI: 10.1089/jamp.2016.1297 (2).

Maw and Sons en Londres comercializaron un inhalador de cerámica conocido como inhalador Nelson en el siglo XIX (figura 114).

Figura 114. Inhalador de Nelson.

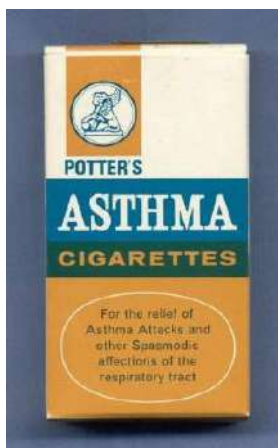


Construido originalmente en cerámica (siglo XIX).

Fuente: New inventions in aid of the practice of medicine and surgery: Dr. Nelson's Improved Earthenware Inhaler," *Lancet: The Journal of British and Foreign medicine*," 1865, Volume I, Boston, Boston Medical Library, published by George Fall, at the office of the "The Lancet" 423(3).

La innovación en dispositivos y técnicas farmacéuticas de suministro de aerosoles se informó en la última mitad del siglo XIX. Este período estuvo marcado por la introducción de nebulizadores, IPS y cigarrillos para el asma (Figura 115).

Figura 115. Cigarrillos para el manejo del asma.
Potter's Asthma Cigarettes. © Royal College of Physicians.



Fuente: [https://wellcomecollection.org/articles/XJuZahAAAEQG Uhr g\(4\)](https://wellcomecollection.org/articles/XJuZahAAAEQG Uhr g(4))

Bleyer publicó un artículo en la Reunión Anual de la Asociación Médica Americana que describe la administración de medicamentos de varias sustancias en los bronquios en 1890. El inhalador de lápiz Wye-th también se introdujo durante este período. El dispositivo estaba destinado a vaporizar el mentol para los pacientes.

Los atomizadores y nebulizadores remodelaron la administración de medicamentos en aerosol. El Dr. Auphon en Francia fue el primero en desarrollar un dispositivo atomizador en 1849, seguido por Jean Sales Girons, que hizo un dispositivo portátil con una función similar (figura 116).

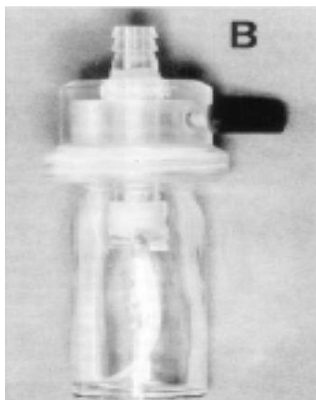
Figura 116. The pulverisateur developed by Jean Sales-Girons in 1858.



Fuente: DOI: 10.1007/978-1-4419-9745-6_3 (5)

Utilizando los principios del físico suizo Daniel Bernoulli y el físico italiano Giovanni Battista Venturi, el médico alemán Bergson desarrolló el Hydrokonium, un dispositivo de bulbo de goma para administrar medicamentos en forma de aerosol en 1862. Esto allanó el camino para un mayor avance y permitió un mayor desarrollo en dispositivos portátiles a principios del siglo XX. El nebulizador Wright fue el primer nebulizador de plástico introducido en 1950 (figura 117).

Figura 117. Nebulizador jet-venturi (1950).



Fuente: (Alharbi et al., 2021) (6)

Actualmente, hay nuevos avances disponibles en la administración de medicamentos inhalados y sus aplicaciones. Esto permite varias opciones de tratamiento variantes en el tratamiento y la prevención de infecciones respiratorias, utilizando corticosteroides inhalados más seguros (ICS), así como terapia sistémica y de reemplazo genético.

Mecanismos de deposición de aerosoles

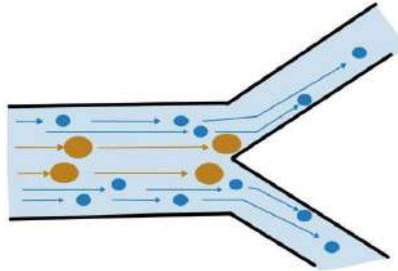
Los principales mecanismos de deposición de aerosoles incluyen la impactación inercial, la sedimentación gravitacional (asentamiento) y la difusión.

La impactación inercial (ImIn): Es el depósito de partículas cuando estas colisionan con la superficie, durante los cambios de dirección. La ImIn se produce con partículas más grandes ($> 3 \mu\text{m}$) de movimiento rápido.

Esta característica de la ImIn depende del diámetro aerodinámico de masa media (MMAD) que se describe como el tamaño promedio de las partículas y se concluye que a mayor MMAD, mayor es el tamaño promedio de la partícula.

Otro factor relevante directo de la ImIn es el diámetro de las transiciones en la vía aérea, en el epitelio nasal y orofaringe, partículas mayores a $10\mu\text{m}$ de MMAD tienden a impactarse y en estructuras como como tráquea y bronquios de amplio calibre partículas entre 5- $10\mu\text{m}$ MMAD hacen lo propio (figura 118).

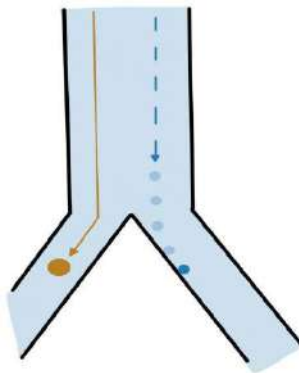
Figura 118. Modelo que demuestra la impactación inercial (ImIn).
Partículas con mayor MMAD representan mayor impactación.



Fuente: Elaboración propia.

La sedimentación gravitacional es una función de la masa y el tiempo de las partículas, con la tasa de sedimentación proporcional al tamaño y la masa de las partículas. Se traduce en el efecto que ejerce la gravedad sobre las partículas no influenciadas por la inercia. Es considerado el mecanismo primario para el depósito de partículas con bajas tasas de MMAD (1 μ m-5 μ m). Es un mecanismo eficiente en generaciones bronquiales distales durante el periodo o fases de pausas inspiratorias (figura 119).

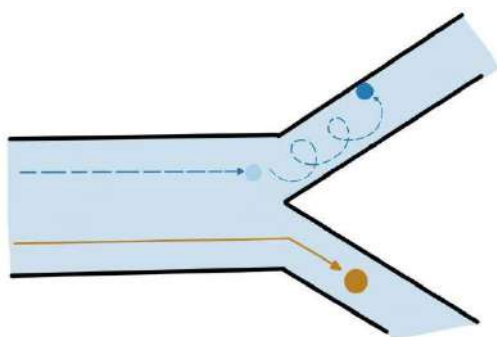
Figura 119. Sedimentación gravitacional. En azul, partículas pequeñas que logran la sedimentación a pesar de no estar influenciado por fuerzas inerciales.



Fuente: Elaboración propia

La difusión se produce con partículas de menos de $1\text{ }\mu\text{m}$ donde el movimiento browniano (movimiento continuo e irregular en zig zag de una partícula pequeña en un ambiente) tiene una mayor influencia sobre la partícula en movimiento. Este movimiento aleatorio asociado al tamaño de la partícula, permite el depósito sobre el epitelio respiratorio (figura 120).

Figura 120. Difusión. En azul, partículas pequeñas que logran la sedimentación gracias a los movimientos Brownianos



Fuente: Elaboración propia.

Estos mecanismos entran en juego cuando las partículas de aerosol se inhalan por vía oral o por la nariz. Las partículas más grandes ($> 10\text{ }\mu\text{m}$) se filtran en la nariz y/o la orofaringe, principalmente por impactación inercial; las partículas de 5 a $10\text{ }\mu\text{m}$ generalmente alcanzan las generaciones proximales del tracto respiratorio inferior y las partículas de 1 a $5\text{ }\mu\text{m}$ llegan a la periferia del pulmón.

El tamaño de las partículas juega un papel importante en la deposición pulmonar, junto con la velocidad de las partículas y el tiempo de sedimentación. A medida que el tamaño de las partículas aumenta por encima de $3\text{ }\mu\text{m}$, el depósito de aerosol se desplaza desde la periferia del pulmón hacia las vías respiratorias conductoras.

La deposición oro faríngea aumenta a medida que el tamaño de las partículas aumenta por encima de $6\text{ }\mu\text{m}$. La pérdida espirada es alta

con partículas muy pequeñas de 1 μm o menos. En consecuencia, los tamaños de partículas de 1 a 5 μm son mejores para llegar a la periferia del pulmón, mientras que las partículas de 5 a 10 μm se depositan principalmente en las vías respiratorias conductoras y las partículas de 10 a 100 μm se depositan principalmente en la nariz.

Administración de aerosoles

Los dispositivos de aerosol de uso terapéutico clínico producen tamaños de partículas heterodispersos, lo que significa que hay una mezcla de tamaños de partículas en el aerosol. Los aerosoles monodispersos, que consisten en un solo tamaño de partícula, son raros en la naturaleza y la medicina, por la dificultad en el control del tamaño (8).

Una medida que cuantifica un aerosol hetero disperso es el diámetro medio de masa (MMD). Esta medida determina el tamaño de partícula (en μm) por encima y por debajo del cual está contenido el 50% de la masa de las partículas (promedio del tamaño). Este es el tamaño de partícula que divide uniformemente la masa o la cantidad de fármaco en la distribución del tamaño de partícula.

Generalmente se da como el diámetro aerodinámico mediano de la masa, o MMAD, debido a la forma en que se miden los tamaños. Cuanto mayor sea el MMAD, más tamaños de partículas serán de diámetros mayores (tabla 27).

Tabla 27. Características de las partículas de aerosoles.

TAMAÑO (μm)	% DEPÓSITO	LOCALIZACIÓN
100	100	Boca, nariz, equipo de aerosol
100 - 40	100	Vía aérea superior
40 - 15	40-100	Vía aérea superior
15 - 8	30-40	Bronquios
5 - 2	>55	Bronquiolos

TAMAÑO (μm)	% DEPÓSITO	LOCALIZACIÓN
2 - 1	<50	Alvéolos
1	<10	Exhalación

Fuente: Elaboración propia

Generadores de aerosoles

Se utilizan tres tipos comunes de generadores de aerosol para la administración de fármacos inhalados: el nebulizador de pequeño volumen (NPV), el inhalador de dosis pedida presurizado (IDMp) y el inhalador de polvo seco (IPS) (figura 121). Cada tipo de dispositivo se describe a continuación:

- **Nebulizador de pequeño volumen:** El NPV es un generador de aerosol que convierte soluciones o suspensiones de medicamentos líquidos en aerosol y funciona con aire comprimido, oxígeno, un compresor o un dispositivo eléctrico.
- **Inhalador de dosis medida presurizado:** El IDMp es una combinación de dispositivo de fármaco autónomo, pequeño y portátil que dispensa múltiples dosis por un valor medido. Debido a la gran pérdida de medicación en la orofaringe y la dificultad de coordinación manual con los IDMp, las cámaras de sujeción y los espaciadores se utilizan a menudo como dispositivos auxiliares con el IDMp.
- **Inhalador de polvo seco:** el IPS es un dispositivo en aerosol que administra el fármaco en forma de polvo, generalmente con un sistema de dosificación accionado por la respiración.

Figura 121. Dispositivos para administración de aerosoles terapéuticos médicos.

		
Nebulizador de pequeño volumen (NPV)	Inhalador de dosis medida presurizado (IDMp)	Inhalador de polvo seco (IPS)

Fuente: Elaboración propia

Factores que afectan la administración de aerosoles

Algunos factores pueden afectar el depósito de aerosoles. Estos factores se clasifican de acuerdo con el origen del factor entre intrínsecos al aerosol y extrínsecos a este (9).

- **Tamaño y forma de la partícula:** El tamaño y la forma de las partículas condicionan el depósito del aerosol en el pulmón. El tamaño se define mediante lo que se denomina diámetro de la masa media aerodinámica (DMMA) o diámetro de una partícula de masa igual a la mediana de las partículas de una población.
- **Velocidad del aire (flujo):** Las partículas del aerosol son transportadas en la vía aérea por una corriente de aire a velocidades y condiciones variables. La trayectoria se ve afectada por las mismas. En las cuatro primeras generaciones de la vía aérea, para cualquier tamaño de partícula, el depósito aumenta según lo hace el flujo inspiratorio. Sin embargo, lo contrario sucede en las últi-

mas generaciones de la vía aérea, en donde el depósito de partículas es inversamente proporcional a este flujo. Esto es debido a que el incremento del flujo inspiratorio disminuye el tiempo de permanencia de las partículas en la vía aérea, por lo que los efectos de la gravedad y del movimiento browniano van a verse muy reducidos. Evidentemente, se precisa un flujo inspiratorio lento, capaz de arrastrar las partículas hacia el interior del árbol bronquial.

- **Geometría de las vías aéreas:** Las probabilidades de depósito de las partículas por choque aumentan cuanto mayor es el tamaño de las propias partículas, cuanto mayor sea el flujo de aire inspirado, cuanto mayor sea el ángulo de separación entre dos ramas y cuanto más estrecha sea la vía aérea.
- **Grado de humedad:** Las partículas de fármaco de los aerosoles pueden ser higroscópicas en mayor o menor medida. La higroscopicidad es la propiedad de algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentran. Esto hace que puedan aumentar o disminuir de tamaño al penetrar en la vía aérea, con la consiguiente modificación del patrón de depósito respecto a lo esperado inicialmente.

El diámetro que alcanza una partícula después de su crecimiento higroscópico depende de su diámetro inicial, de las propiedades intrínsecas de la partícula y de las condiciones ambientales de las vías aéreas. La fracción molar de vapor de agua contenida en la vía aérea ha demostrado ser un factor importante en relación con el aumento del DMMA de las partículas del aerosol. En general, se considera que el crecimiento higroscópico afecta poco a las partículas con DMMA inferior a $0,1\mu\text{m}$, mientras que es muy intenso en las partículas con DMMA superior a $0,5\mu\text{m}$.

La higroscopicidad puede ser utilizada para favorecer el depósito de fármacos inhalados en áreas pulmonares con características morfológicas específicas y que requieran la retención de una molécula de mayor tamaño.

- **Mecanismos de aclaramiento mucoliciar:** Una vez depositadas en las vías aéreas, las partículas pueden ser arrastradas por el sistema mucociliar, degradadas o absorbidas a la circulación sistémica o a los conductos linfáticos. El primer mecanismo se da en las vías aéreas de conducción (desde la tráquea hasta los bronquiolos terminales), tapizadas por epitelio ciliado, el cual está cubierto por moco en el que se distinguen dos capas: una capa periciliar de baja viscosidad, o sol, y una capa que cubre a esta, más espesa, o gel. Esta capa bifásica de moco protege al epitelio de la deshidratación, ayuda a humidificar el aire y proporciona una barrera protectora al atrapar las partículas inhaladas.

Las partículas insolubles quedan atrapadas en el gel y se desplazan hacia la región faringo laríngea, por el movimiento de los cilios del epitelio, donde va a ser expectorado o deglutido. La velocidad de aclaramiento va a depender del número de células ciliadas y de la frecuencia con que batan los cilios, y puede verse afectada por factores que actúen sobre el funcionamiento de los cilios o sobre la cantidad y la calidad del moco.

Las partículas solubles son eliminadas por mecanismos absorptivos. Las moléculas liposolubles atraviesan el epitelio respiratorio por transporte pasivo; las moléculas hidrosolubles pueden atravesar la barrera epitelial bien a través de los espacios intercelulares o bien por transporte activo (por mecanismos de endocitosis y exocitosis).

Una vez ubicadas en la región submucosa, las partículas pueden pasar a la circulación sistémica, a la circulación bronquial o al sistema linfático. Las partículas que alcanzan a depositarse en los alvéolos pueden ser fagocitadas y eliminadas por los macrófagos alveolares, en el caso de que sean partículas insolubles (mecanismo no absorptivo), o bien pueden ser absorbidas hacia la circulación sistémica si son solubles.

- **Técnica de administración:** El patrón de respiración influye en la deposición de aerosoles en el tracto respiratorio inferior. Se

debe instruir al paciente para que realice respiraciones profundas periódicas durante la terapia con aerosol. Esta práctica ha demostrado tener mayor deposito del medicamento en la vía aérea.

- **Interface del dispositivo:** Los aerosoles se pueden administrar usando ya sea una boquilla o una mascarilla. Muchos estudios han demostrado los beneficios del uso de la boquilla. La nariz tiende a filtrar más aerosol que la boca, por lo que se debe fomentar el uso de una boquilla, cuando sea apropiado. Las boquillas no se pueden utilizar para bebés y niños pequeños. Además, el uso de una boquilla puede resultar incómodo para una terapia de aerosol más prolongada.

El uso de una mascarilla aumenta la cantidad de aerosol que se deposita en la cara, los ojos y la nariz. Ya sea que se utilice una boquilla o una mascarilla; es importante instruir al paciente a inhalar por la boca durante la terapia con aerosol. El diseño y el ajuste adecuados de la mascarilla pueden optimizar la dosis inhalada y reducir la deposición en los ojos.

La tabla 28 resume los aspectos intrínsecos y extrínsecos que influyen en la terapia de aerosol.

Tabla 28. Factores de intrínsecos y extrínsecos de la aerosolterapia.

FACTORES INTRÍNSECOS	FACTORES EXTRÍNSECOS
Tamaño de la partícula	Velocidad del aire
Forma de la partícula	Geometría de las vías aéreas
Interface del dispositivo	Grado de humedad
	Mecanismo de aclaramiento mucociliar
	Técnica de administración: Volumen pulmonar, tiempo de apnea, patrón respiratorio.

Fuente: Elaboración propia

Dispositivos de administración

Los dispositivos empleados en la actualidad para la administración de fármacos inhalados pueden dividirse en tres tipos: nebulizadores, inhaladores con cartucho presurizado e inhaladores de polvo.

- **Nebulizadores:** Actualmente se encuentran disponibles un sin fin de modelos comerciales, sin embargo, podemos distinguir tres tipos: Los jet, los ultrasónicos y los mesh. Los nebulizadores permiten administrar dosis elevadas de fármacos en pacientes sin capacidad de coordinación o de cooperación y permiten la administración de varias sustancias mezcladas en una misma solución.

El flujo inspiratorio mínimo necesario para que el aerosol producido por un nebulizador alcance los pulmones es de 6-8l/min. Sin embargo, se producen elevadas pérdidas de fármaco al quedar retenida gran parte de la medicación en el nebulizador en forma de espacio muerto o al perderse en el aire ambiente durante la espiración. Se ha estimado que tan solo el 10% de la dosis colocada inicialmente en el nebulizador va a depositarse eficazmente en los pulmones. Las gotas grandes van a quedar depositadas en la orofaringe, mientras que las demasiado pequeñas penetran en los pulmones y vuelven a ser expulsadas durante la espiración.

El depósito pulmonar puede aumentarse modificando el modo de inhalación del paciente. La mayoría de los pacientes inhalan empleando el volumen circulante propio. Si se realizan inhalaciones profundas seguidas de una apnea, la cantidad de fármaco retenida en los pulmones puede incrementarse hasta un 14-17%. Probablemente la manera más práctica de modificar el patrón de depósito sea disminuir el tamaño de las gotas generadas. Esto puede producirse en los nebulizadores ultrasónicos, haciendo vibrar al cristal piezo eléctrico a una mayor frecuencia, y en los de tipo jet aumentando el flujo del gas comprimido.

- **Nebulizador jet:** También se denominan “atomizadores” o “nebulizadores neumáticos” y se utilizan ampliamente en la práctica médica pediátrica y de adultos. Los nebulizadores jet se basan en el principio de Bernoulli, en el que una corriente de aire de alta velocidad de la fuente presurizada, es responsable de la formación del aerosol rompiendo la partícula en gotitas gracias a los deflectores del dispositivo.

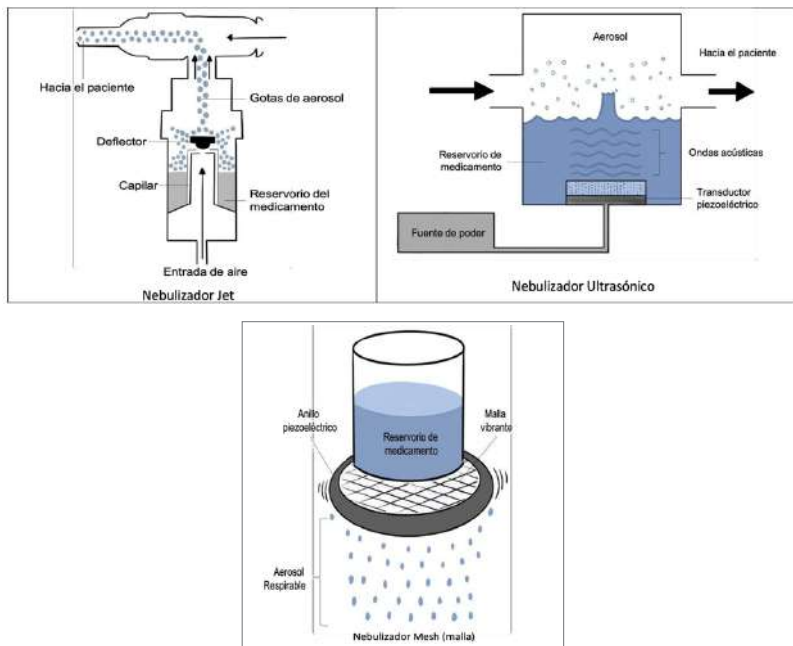
Actualmente, se prefiere el IDMp en lugar de los nebulizadores, porque son portátiles y hacen menos ruido. Generalmente, los nebulizadores jet son utilizados por pacientes que tienen dificultades para usar inhaladores, como en casos de enfermedad respiratoria grave o en ataques de asma graves, así como en los casos donde el paciente no coopera durante la administración.

- **Nebulizador ultrasónico:** Los nebulizadores de ondas ultrasónicas están disponibles desde la década de 1960. En estos dispositivos, un oscilador electrónico se utiliza para generar ondas ultrasónicas de alta frecuencia que son convertidas en vibraciones mecánicas por un elemento piezo eléctrico que está en contacto con un depósito de líquido, generando aerosol. Estos dispositivos, generalmente son portátiles y no hacen ruido. Algunos modelos pueden producir partículas de 1 a 6 μm de MMAD. Los nebulizadores ultrasónicos de pequeño y gran volumen están disponibles comercialmente para administrar fármacos. Mediante este mecanismo de atomización, el paciente nebuliza la medicación, que se convierte en gotitas diminutas que entran en la cavidad nasal u oral y producen los mejores efectos terapéuticos al ser absorbidas en el tracto respiratorio.
- **Nebulizadores Mesh (malla):** Los nebulizadores de malla usan electricidad para hacer vibrar un elemento piezoeléctrico (a aproximadamente ~ 128 KHz) que mueve las formulaciones líquidas a través de una malla fina para generar aerosol.

El diámetro de la malla o apertura determina el tamaño de la partícula generada. Los nebulizadores de malla son muy eficientes y pro-

ducen un volumen residual mínimo (0,1 a 0,5 ml). Los nebulizadores de malla utilizan dos mecanismos básicos de acción: malla vibratoria activa y malla pasiva (10) (figura 122).

Figura 122. Mecanismos mecánicos de los aerosoles.



Fuente: Elaboración propia.

Inhaladores

El inhalador de dosis medida presurizado y el inhalador de polvo seco, son dispositivos médicos de administración en aerosol que combinan un dispositivo con una formulación y dosis de fármaco específicas. Cada actuación del inhalador está asociada con una única inspiración del paciente. Por lo general, se trata de dispositivos para un solo paciente que se dispensan en la farmacia con una cantidad específica de medicación y se desechan cuando la medicación se ha agotado (dosis medida).

A los pacientes se les prescriben comúnmente varios tipos de inhaladores con diferentes instrucciones de funcionamiento. La confusión entre el funcionamiento del dispositivo puede resultar en una terapia subóptima. Por ejemplo, los IDMp normalmente requieren un flujo inspiratorio lento (<30 L / min) con una apnea, mientras que un IPS puede requerir flujos significativamente altos (30-90 L / min) en sus propiedades resistivas para dispersar una dosis completa. Los pacientes pueden confundir qué flujo inspiratorio realizar con qué dispositivo y pueden obtener mucho menos fármaco de ambos dispositivos. Por lo tanto, la educación y la demostración repetitiva del retorno son las claves para el uso adecuado del inhalador.

En la tabla 29 se enumeran las ventajas y desventajas de los inhaladores de dosis medidas presurizados.

Tabla 29. Ventajas y desventajas de los IDMp.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Portátil, liviano y compacto.	Requiere coordinación del operador y la respiración.
Disponibilidad de múltiples dosis.	Requerimientos de patrón de inhalación y apnea adecuado.
Tiempo de tratamiento corto.	Grado de humedad.
Dosis administradas exactas.	Reacción a los propelentes en algunos pacientes.
No requiere preparación de medicamentos.	Deposición oro faríngea.
Difícil de contaminar.	Es difícil determinar la dosis que queda en el recipiente sin contador de dosis.

Fuente: Elaboración propia.

**Tipos de inhaladores
(inhaladores de dosis medida presurizados – IDMp)**

Hay dos tipos principales de IDMp, convencionales e inhaladores de niebla suave. Independientemente del fabricante o del ingrediente

activo, los componentes básicos del IDMp incluyen el recipiente, los propelentes, el medicamento, la válvula dosificadora y el actuador.

IDMp convencional

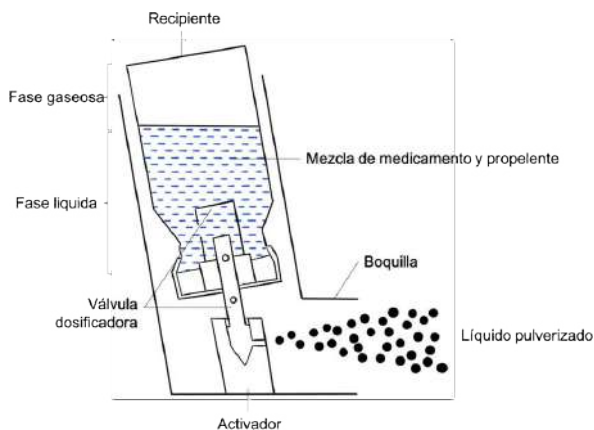
El IDMp consta de un recipiente, el medicamento, el propelente/excipiente, una válvula dosificadora, la boquilla y el activador. El medicamento representa solo el 1- 2% de la mezcla emitida por el IDMp y es suspendido o disuelto en la mezcla de propulsor/excipiente. El propulsor del IDMp constituye el 80% de la mezcla.

Estos agentes evitan la agregación de las partículas del fármaco y lubrican la válvula dosificadora. También se aseguran de que el medicamento esté bien suspendido en el recipiente. La válvula dosificadora actúa para preparar una dosis medida previamente de medicamento junto con el propulsor.

El volumen de la válvula dosificadora cambia de 25 a 100 μ L y proporciona de 50 μ g a 5 mg de fármaco por actuación, según la formulación del fármaco. El IDMp convencional tiene un diseño sencillo de presionar y respirar (figura 123).

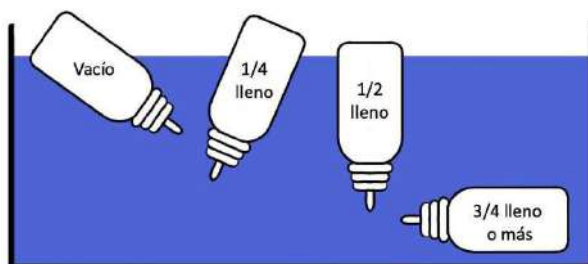
Al presionar el actuador se libera la mezcla de fármaco-propulsor/excipiente, que luego se expande y se vaporiza para convertir el medicamento líquido en un aerosol. La vaporización inicial del propulsor enfría la suspensión de aerosol. El recipiente alinea el orificio de la válvula dosificadora con la cámara de dosificación, cuando se presiona hacia abajo. Luego, la alta presión de vapor del propulsor fuerza una dosis medida previamente de medicación fuera de este orificio y a través de la boquilla del actuador.

Por último, al soltar la válvula dosificadora se vuelven a llenar las cámaras con otra dosis de la mezcla de fármaco y propulsor. Los propulsores utilizados con pMDI son HFA (Hidrofluoroalcanos). Los HFA son farmacológicamente inertes y no contienen surfactante ni usan alcohol para este propósito.

Figura 123. Mecanismo de acción IDMp.

Fuente: Elaboración propia.

Un método ampliamente utilizado para la medición del contenido de este tipo de inhaladores consiste en sumergir el recipiente en un medio acuático. De acuerdo con el grado de flotabilidad en el agua se podrá identificar este contenido (figura 124).

Figura 124. Relación flotabilidad-contenido del IDMp.

Fuente: Elaboración propia.

IDMp de niebla suave

El IDMp de niebla suave es un inhalador de niebla suave sin propelente; utiliza energía mecánica en forma de resorte tensado para gene-

rar la nube de aerosol suave. La energía de girar la base transparente media vuelta hacia la derecha, extrae un volumen medido predeterminado de solución del cartucho de medicación, a través de un tubo capilar hacia una microbomba.

Cuando se presiona el botón de liberación de dosis, la energía del resorte empuja la solución hacia la boquilla, creando una suave nube de aerosol que dura aproximadamente 1,5 segundos. Al igual que los inhaladores convencionales, este sistema requiere ser agitado antes de su uso y en los momentos en que el dispositivo no se haya utilizado. Este dispositivo posee un indicador de dosis.

Actualmente existen varias formulaciones en aerosol disponibles para su uso en IDMp. Los inhaladores de dosis medidas presurizados se utilizan actualmente para administrar agonistas beta-2, anticolinérgicos, combinaciones de anticolinérgicos/agonistas beta-2, corticosteroides y fármacos antiasmáticos (tabla 30).

Tabla 30. Medicamentos disponibles en aerosol.

IDMp	Broncodilatadores de corta acción	Salbutamol Bromuro de ipratropio	Ventolin [®] , Assal [®] , Aurosal [®] , Farmarest [®] , Inbumed [®] , Salamol [®] , Salbutalan [®]
	Esteroides inhalados	Beclometasona Ciclesonida Fluticasona	Atopyo [®] y Atrovent [®] Qvar [®] , Baclonet [®] , Beclazone [®] , Dobipro [®] , Mizraba Alvesco [®] Flixotide [®]
	Combinación de esteroide inhalado y broncodilatadores de larga acción	Budesonida Fluticasona con salmeterol Budesonida con formoterol Mometasona con formoterol	Numark [®] , Aerosial [®] , Jagodi [®] Seretide Evohaler [®] , Lasfligen [®] Vannair [®] Zenhale [®] Dosis única: Miflonide Aerolizer [®] Multidosis: Pulmicort Turbuhaler [®]
	Esteroides inhalados	Budesonida Mometasona Fluticasona con salmeterol	Multidosis: Elovent Twisthaler [®] Dosis única: Nimbus y Ulphinlas [®] Multidosis: Seretide Diskus e Irflisol Forspiro [®]

IPS	Combinación de esteroide inhalado y broncodilatadores de larga acción	Budesonida con formoterol Bromuro de aclidinio con formoterol	Multidosis: Symbicort Turbuhaler® Dosis única: Duaklir Genuair®
Niebla fina	Broncodilatadores de larga acción	Beclometasona con formoterol Trifenatato de vilaterol con fluticasona	Multidosis: Innovair Nexthaler® Multidosis: Relvar Ellipta®
	Broncodilatadores de corta acción	Fumarato de formoterol	Multidosis: Oxis Turbuhaler® Combivent Respimat®
	Broncodilatadores de larga acción	Salbutamol con bromuro de ipratropio Tiotropio	Spiriva Respimat®

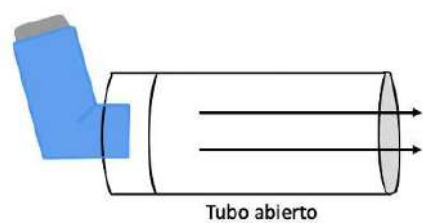
IPS: Inhalador de Polvo Seco; **IDMp:** Inhalador de Dosis Medida presurizado.

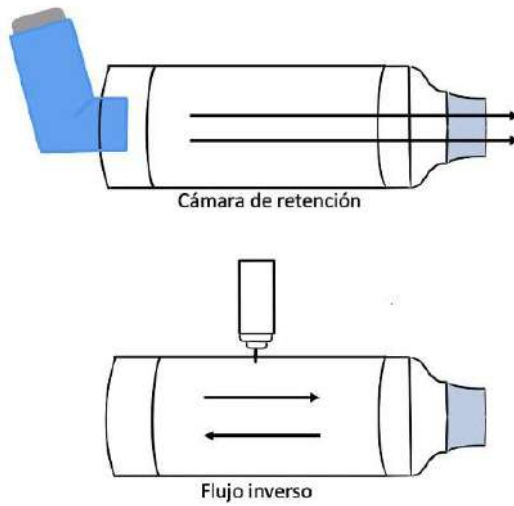
Fuente: Elaboración propia.

Espaciadores durante el uso de IDMp

Un espaciador es un dispositivo de extensión que se sitúa entre el paciente y el IDMp. Estos dispositivos ayudan a mejorar la eficiencia en el uso de los cartuchos presurizados al aumentar la distancia entre la boca y el dispositivo, lo que disminuye la velocidad de flujo del aerosol y el impacto en la orofaringe, y permite la evaporación y la disminución del tamaño de la partícula. Además, facilitan la penetración y depósito pulmonar (mayor al 30%) (figura 125).

Figura 125. Tipos de espaciadores para IDMp.





Fuente: Elaboración propia.

Varios factores influyen sobre su eficacia: el espacio entre la entrada y la salida del inhalador, el material del que están hechos, la técnica de inhalación y el cuidado en general del dispositivo.

Existen diferentes tipos de espaciadores: el tubo abierto, el diseño de flujo inverso, en el cual el IDMp se sitúa cerca de la boca y es disparado en dirección lejana al paciente, y la cámara con reservorio o de retención, que es la más utilizada y que permite mantener el aerosol dentro de la cámara por un tiempo finito.

Los hay de gran diversidad de tamaño: desde 50 ml hasta 750 ml, lo cual puede impactar en la cantidad total del fármaco que se deposita en la orofaringe o en los pulmones. Cuando el espaciador es pequeño, se deposita menos medicamento a nivel pulmonar y más a nivel oro faríngeo. Inversamente, al aumentar la capacidad del espaciador, existe un mejor depósito a nivel pulmonar y menos a nivel oro faríngeo.

Sin embargo, cuando se trata de pacientes con un volumen corriente pequeño (niños ≤ 2 años), el volumen de espaciado grande, requiere

de tiempos más largos de administración. Existen estudios donde los diferentes dispositivos espaciadores aumentan la biodisponibilidad del medicamento inhalado. Sin embargo, el punto fundamental para la entrega del medicamento es una técnica adecuada. La tabla 31 resume las ventajas y desventajas de usar cámaras espaciadoras con IDMp.

Tabla 31. Ventajas y desventajas de usar cámaras o espaciadores usados con IDMp.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reducción de la impactación	Grande y voluminoso en comparación con IDMp
Aumento del fármaco inhalado de dos a cuatro veces sobre el IDMp	Mas costoso que el IDMp
Permite el uso de IDMp en situaciones agudas	Requiere ensamblaje
No se requiere preparación de medicamentos	Errores del paciente al disparar múltiples dosis en la cámara antes de inhalar
Simplificación de la coordinación y la inhalación de IDMp	Posible contaminación con inadecuada limpieza
Ayuda a reducir los efectos secundarios locales y sistémicos.	

Fuente: Elaboración propia.

Técnicas de administración

A continuación, se presentan algunas recomendaciones para la administración de aerosoles:

Nebulizadores convencionales y jet

- Ensamblar el tubo, la copa del nebulizador y la boquilla (o mascarilla).
- Colocar el medicamento en el reservorio del nebulizador.

- Ubicar al paciente en posición sedente.
- Conectar el nebulizador a una fuente de alimentación eléctrica y de gas.
- Pídale al paciente respirar tranquilamente hasta el final de la medicación.
- Mantener el nebulizador vertical durante el tratamiento.
- Enjuagar el nebulizador con agua estéril o destilada y dejarlo secar al aire.

Nebulizadores ultrasónicos y de malla

Cuando se utiliza un nebulizador ultrasónico o de malla, se debe tener en cuenta:

- Armado y montado correcto del nebulizador según las especificaciones del fabricante.
- Seguir las instrucciones del fabricante para realizar una prueba de funcionalidad antes del primer uso de un nebulizador nuevo, así como después de cada desinfección para verificar su correcto funcionamiento.
- Verter la solución en el depósito de medicación. No exceder el volumen recomendado por el fabricante.
- Sentar al paciente en posición vertical.
- Conectar y encender la energía.
- Sostener el nebulizador en la posición recomendada por el fabricante.
- Seguir las instrucciones de técnica de respiración recomendadas por el fabricante para estos nebulizadores ultrasónicos y de malla de diseño exclusivo.
- Si el tratamiento debe interrumpirse, apagar la unidad para evitar desperdicios.

- Al finalizar el tratamiento, desarmar y limpiar según lo recomendado por el fabricante.
- Cuando utilice un nebulizador de malla, no tocar la malla durante la limpieza. Esto dañará la unidad.
- Una o dos veces por semana, desinfectar el nebulizador siguiendo las instrucciones del fabricante.

Técnica para IDMp con espaciador

Recomendaciones al paciente:

- Retire la tapa de la boquilla y agite bien el inhalador.
- Presione el IDMp en el aire si es nuevo o no se ha utilizado durante varios días.
- Monte el aparato y compruebe si hay objetos extraños, retírelos.
- Mantenga el recipiente en posición vertical.
- Siéntese derecho o levántese.
- Respire completamente.

Siga las instrucciones a continuación según el tipo de interfaz de dispositivo utilizado:

Con la boquilla

- Coloque la boquilla del espaciador entre sus dientes y selle sus labios. Asegúrese de que su lengua esté debajo de la boquilla y no bloquee el IDMp.
- Accione el IDMp cuando comience a inhalar lentamente. También asegúrese de inhalar lentamente si el dispositivo produce un “silbido” que indica que la inspiración es demasiado rápida.
- Aleje la boquilla de la boca y contenga la respiración durante diez segundos. Si no puede contener la respiración durante diez segundos, manténgalo así el mayor tiempo posible.

Con la máscara

- Coloque la mascarilla cubriendo completamente sobre la nariz y la boca y asegúrese de que se ajuste firmemente a la cara. Mantenga la mascarilla en su lugar y accione el IDMpc cuando comience a inhalar lentamente. También asegúrese de inhalar lentamente si el dispositivo produce un “silbido” que indica que la inspiración es demasiado rápida.
- Mantenga la mascarilla mientras realiza seis respiraciones normales (incluidas la inhalación y la exhalación), luego retire la máscara.
- Espere de 15 a 30 segundos si necesita otra dosis de medicamento.
- Repita los pasos anteriores hasta alcanzar la dosis prescrita.
- Si está tomando un corticosteroide, enjuague la boca después del medicamento,
- Vuelva a colocar la tapa de la boquilla en el IDMpc después de cada uso.

Referencias bibliográficas

1. Colbeck I, Lazaridis M, (editores). Aerosol science: Technology and applications. John Wiley & Sons Inc; 2014. [citado 1 abril del 2022]
2. SW, Thiel CG. The history of therapeutic aerosols: A chronological review. J Aerosol Med Pulm Drug Deliv [Internet]. 2017;30(1):20–41. [citado 1 abril del 2022]. DOI: <https://doi.org/10.1089/jamp.2016.1297>
3. Llagostera A, Torres M, Costa MA. El complejo psicotrópico en Solcor 3 (San Pedro de Atacama). Estud atacameños [Internet]. 1988;(9):67–106. [citado 1 abril del 2022] DOI: <https://doi.org/10.22199/s07181043.1988.0009.00004>
4. Murnane B, Murnane D, Sanders M, Snell N. ‘Great ease and simplicity of action’: Dr Nelson’s Inhaler and the origins of modern inhalation

- therapy. Sci Mus Group J [Internet]. 2021;8(8). [citado 1 abril del 2022]. DOI: <https://doi.org/10.15180/170807>
5. Wood, M. A medical history of smoking, from cure to killer. Wellcome collections. 2019. [citado 1 abril del 2022]. Disponible es: <https://wellcomecollection.org/articles/XJuZahAAAEQGUhrq>
 6. Sanders M. Pulmonary drug delivery: An historical overview. En: Controlled Pulmonary Drug Delivery. New York, NY: Springer New York; 2011. p. 51-73. [citado 1 abril del 2022]. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9745-6_3
 7. Alharbi AS, Yousef AA, Alharbi SA, Al-Shamrani A, Alqwaiee MM, Almeziny M, et al. Application of aerosol therapy in respiratory diseases in children: A Saudi expert consensus. Ann Thorac Med [Internet]. 2021;16(2):188-218. [citado 1 abril del 2022]. DOI: https://doi.org/10.4103/atm.atm_74_21
 8. Fernández Tena A, Casan Clarà P. Depósito pulmonar de partículas inhaladas. Arch Bronconeumol [Internet]. 2012;48(7):240-6. [citado 1 abril del 2022]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2012.02.003>
 9. Devadason SG, Everard ML, Le Souëf PN. Aerosol therapy and delivery systems. En: Pediatric Respiratory Medicine. Elsevier; 2008. p. 235-40. [citado 1 abril del 2022]. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-032304048-8.50021-9>
 10. Fernández-Soto JR, Navarrete-Rodríguez EM, Del-Río-Navarro BE, Saucedo-Ramírez OJ, Del-Río-Chivardi JM, Meneses-Sánchez NA, et al. Asma: uso adecuado de dispositivos para inhalación. Bol Med Hosp Infant Mex [Internet]. 2019;76(1):5-17. [citado 1 abril del 2022] DOI: <https://doi.org/10.24875/bmhim.18000127>
 11. Kaur R, Garg T, Rath G, Goyal AK. Advanced aerosol delivery devices for potential cure of acute and chronic diseases. Crit Rev Ther Drug Carrier Syst [Internet]. 2014;31(6):495-530. [citado 1 abril del 2022] .<https://doi.org/10.1615/CritRevTherDrugCarrierSyst.2014010527>

12. Rau JL. The inhalation of drugs: advantages and problems. *Respir Care*. 2005;50(3):367-82. [citado 1 abril del 2022].

Índice de Tablas

Tabla 1. Características regionales de la vía aérea	23
Tabla 2. Segmentación bronquial	37
Tabla 3. Composición de los gases en la atmósfera	50
Tabla 4. Composición de los gases en la tráquea.....	51
Tabla 5. Propiedades estáticas y dinámicas pulmonares	92
Tabla 6. Capacidades pulmonares.....	99
Tabla 7. Procedimientos de la Escuela Europea	122
Tabla 8. Indicaciones y contraindicaciones de las técnicas de reexpansión pulmonar	161
Tabla 9. Técnicas manuales no instrumentales.....	162
Tabla 10. Valores normales para presiones respiratorias máximas	237
Tabla 11. Ecuaciones de regresión relacionadas con las presiones respiratorias máximas y la edad	238
Tabla 12. Características de ensayos clínicos controlados en los que se ha estudiado el efecto del EMI en pacientes que presentan EPOC	249
Tabla 13. Entrenamiento preoperatorio de músculos inspiratorios comparado con atención habitual, intervención sin ejercicio para adultos en lista de espera de cirugía cardíaca y abdominal mayor	252
Tabla 14. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria versus control del asma ...	254
Tabla 15. Entrenamiento de los músculos respiratorios versus entrenamiento simulado en la ELA.....	256
Tabla 16. Resumen de los resultados de distintas investigaciones relacionadas con el tratamiento de los MR y su influencia en el rendimiento físico.....	258
Tabla 17. Factores que alteran la medición de la pulsioximetría	279
Tabla 18. Ventajas y desventajas del Pulsioxímetro	280
Tabla 19. Relación de la capacidad de almacenamiento de oxígeno con el tamaño del cilindro.....	286
Tabla 20. Características sistemas de fuentes de oxígeno	289
Tabla 21. Sistemas de administración de oxígeno terapéutico.....	293
Tabla 22. Características de los sistemas de alto y de bajo flujo.....	295
Tabla 23. Relación entre Flujo de oxígeno en Litros por Minuto, FIO ₂ y color.....	296
Tabla 24. Relación de flujo y FiO ₂ estimado por cánula nasal.....	297
Tabla 25. Relación del flujo y FiO ₂ estimado por máscara simple	299
Tabla 26. Características ventajas y desventajas de los sistemas de bajo flujo	300

Tabla 27. Características de las partículas de aerosoles	321
Tabla 28. Factores de intrínsecos y extrínsecos de la aerosolterapia.....	326
Tabla 29. Ventajas y desventajas de los IDMp	330
Tabla 30. Medicamentos disponibles en aerosol	333
Tabla 31. Ventajas y desventajas de usar cámaras o espaciadores usados con IDMp	336

Index of Tables

Table 1. Regional characteristics of the airway	23
Table 2. Bronchial segmentation	37
Table 3. Composition of gases in the atmosphere.....	50
Table 4. Composition of gases in the trachea.....	51
Table 5. Static and dynamic lung properties	92
Table 6. Lung capacities	99
Table 7. Procedures of the European School	122
Table 8. Indications and contraindications of lung re-expansion techniques.....	161
Table 9. Non-instrumental manual techniques	162
Table 10. Normal values for maximal respiratory pressures	237
Table 11. Regression equations related to peak respiratory pressures and age	238
Table 12. Characteristics of controlled clinical trials in which the effect of IMT in COPD patients has been studied	249
Table 13. Preoperative inspiratory muscle training compared with usual care, non-exercise intervention for adults on cardiac and major abdominal surgery waiting list.....	252
Table 14. Inspiratory muscle training vs. asthma control.....	254
Table 15. Respiratory muscle training versus sham training in ALS in ALS	256
Table 16. Summary of the results of different research related to RM treatment and its influence on physical performance	258
Table 17. Factors that alter pulse oximetry measurement.....	279
Table 18. Advantages and disadvantages of the pulse oximeter	280
Table 19. Relationship of oxygen storage capacity to cylinder size	286
Table 20. Characteristics of oxygen source systems.....	289
Table 21. Therapeutic Oxygen Delivery Systems.....	293
Table 22. Characteristics of high-flow and low-flow systems	295
Table 23. Relationship between oxygen flow in liters per minute, FIO ₂ and color.....	296
Table 24. Relationship of flow and estimated FiO ₂ by nasal cannula.....	297
Table 25. Relationship of flow and FiO ₂ estimated by single mask.....	299
Table 26. Characteristics advantages and disadvantages of low-flow systems	300
Table 27. Aerosol particle characteristics.....	321
Table 28. Intrinsic and Extrinsic Factors of Aerosol Therapy	326
Table 29. Advantages and disadvantages of pMDIs.....	330

Table 30. Medications available in aerosolized form	333
Table 31. Advantages and disadvantages of using chambers or spacers used with pMDIs	336

Índice de figuras

Figura 1. Características histológicas regionales de la vía aérea	23
Figura 2. Pared lateral de la cavidad nasal	24
Figura 3. Vía aérea superior (vista lateral)	27
Figura 4. Cartílagos laríngeos (vista anterior, vista posterior, vista lateral corte sagital)	30
Figura 5. Músculos laríngeos	32
Figura 6. Pulmón y parénquima pulmonar.....	38
Figura 7. Pulmones (vista anterior).....	40
Figura 8. Concepto de presión barométrica y altitud.....	49
Figura 9. Ley de Dalton	52
Figura 10. Ley de Henry	53
Figura 11. Ley de Boyle	54
Figura 12. Ley de Charles.....	55
Figura 13. Ley de Avogadro	56
Figura 14. Ley de Gay- Lussac.....	57
Figura 15. Difusión	59
Figura 16. Grosor de la membrana	59
Figura 17. Curva de disociación de la hemoglobina por el oxígeno	66
Figura 18. Efecto del pH sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno	67
Figura 19. Efecto de la Pco ₂ sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno...	68
Figura 20. Efecto de la temperatura sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno	69
Figura 21. Efecto del 2,3-difosfoglicerato sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno	69
Figura 22. Músculos del ciclo respiratorio	78
Figura 23. Ciclo inspiratorio.....	79
Figura 24. Curva presión-tiempo ciclo inspiratorio	83
Figura 25. Curva presión tiempo a lo largo del ciclo ventilatorio.....	85
Figura 26. Curva presión volumen	96
Figura 27. Volúmenes y Capacidades Pulmonares	100
Figura 28. Curva Flujo Volumen.....	102
Figura 29. Técnicas de la Escuela Anglosajona	111
Figura 30. Posiciones del Drenaje Postural (DP).....	112
Figura 31. Vibraciones torácicas.....	115

Figura 32. Posición de la mano para la percusión.....	117
Figura 33. Posiciones para aplicar la vibración y percusión.....	118
Figura 34. AFEL en Adulto	124
Figura 35. Pediátrico	124
Figura 36. D.A	126
Figura 37. Fases del Drenaje Autógeno.....	127
Figura 38. DAA en lactantes.....	129
Figura 39. DAA en niños pequeños	129
Figura 40. ELTGOL	131
Figura 41. ELPr	132
Figura 42. Tos dirigida.....	134
Figura 43. Tos Asistida Pediatría	136
Figura 44. Tos Asistida Adulto	136
Figura 45. Tos provocada	138
Figura 46. AFER adulto.....	140
Figura 47. AFER pediátrico	142
Figura 48. TEF.....	143
Figura 49. DRR	145
Figura 50. DRR + I.....	145
Figura 51. GPR	147
Figura 52. BTE	148
Figura 53. Fases de la técnica ventilación tranquila o patrón diafragmático	165
Figura 54. Ventilación tranquila o patrón diafragmático	165
Figura 55. Ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media.....	166
Figura 56. Fases de la técnica ventilación a nivel de capacidad inspiratoria media ...	167
Figura 57. Ventilación a nivel de capacidad inspiratoria máxima	168
Figura 58. Fases de la técnica ventilación a nivel de capacidad inspiratoria máxima	168
Figura 59. Patrón ventilatorio con inspiración fraccionada	169
Figura 60. Fases de la técnica patrón ventilatorio con inspiración fraccionada....	170
Figura 61. Patrón con suspiros inspiratorios	171
Figura 62. Fases de la técnica suspiros inspiratorios	171
Figura 63. Patrón ventilatorio con espiración abreviada.....	172
Figura 64. Fases de la técnica patrón ventilatorio con espiración abreviada	173
Figura 65. Patrón ventilatorio a nivel de CRF	174
Figura 66. Fases de la técnica patrón ventilatorio a nivel de CRF.....	174
Figura 67. Patrón respiratorio a nivel de VR	175
Figura 68. Fases de la técnica patrón respiratorio a nivel de VR	176

Figura 69. EDIC	177
Figura 70. Inspiración Profunda Sostenida	179
Figura 71. Ciclo activo de la respiración.....	181
Figura 72. Fases del ciclo activo de la respiración.....	182
Figura 73. Flutter	194
Figura 74. Acapella.....	199
Figura 75. RC- Cornet	201
Figura 76. Máscara PEP.....	204
Figura 77. Thera PEP.....	207
Figura 78. Cough-Assist	211
Figura 79. Chaleco vibratorio	213
Figura 80. Incentivo de flujo.....	218
Figura 81. Incentivo de volumen	219
Figura 82. Uso de balón esofágico en EMR	233
Figura 83. Manovacuómetro análogo	234
Figura 84. Manovacuómetro digital	235
Figura 85. Espirómetro utilizado para la determinación de la ventilación voluntaria máxima	240
Figura 86. Dispositivos de entrenamiento	243
Figura 87. Uso de dispositivo Threshold	245
Figura 88. Dispositivo de carga resistiva PowerBreathe.....	246
Figura 89. Dispositivo PFLEX	247
Figura 90. Dispositivo Power Breathe, por IMT Technologies LTD	257
Figura 91. Dispositivo Spiro Tiger, por Laboratorios Ideag AG. Suiza	258
Figura 92. Curva de disociación de la Hemoglobina por el Oxígeno	276
Figura 93. Pulsioxímetro.....	279
Figura 94. Sitio de punción toma de gases arteriales	281
Figura 95. Manómetro y flujómetro.....	282
Figura 96. Flujómetro.....	283
Figura 97. Manómetro y flujómetro de la bala de oxígeno	284
Figura 98. Niplex	285
Figura 99. Bala de oxígeno.....	287
Figura 100. Concentrador de oxígeno Everflo Respironics	288
Figura 101. Flujómetro conectado a oxígeno de pared.....	289
Figura 102. Clasificación de los humidificadores.....	290
Figura 103. Humidificador de burbuja	291
Figura 104. Nariz artificial.....	292
Figura 105. Efecto Bernoulli	294

Figura 106. Máscara ventury	296
Figura 107. Cánula nasal.....	297
Figura 108. Máscara Simple.....	299
Figura 109. Máscara de no – reinhalación	300
Figura 110. Representación esquemática antigua de aerosolterapia a través de plantas (c.1554 BC).....	312
Figura 111. Inhalador terapéutico antiguo por Christopher Bennet (1654)	314
Figura 112. Tabla de Rapé	314
Figura 113. Inhalador de Mudge	315
Figura 114. Inhalador de Nelson. Construido originalmente en cerámica (siglo XIX)	315
Figura 115. Cigarrillos para el manejo del asma. Potter’s Asthma Cigarettes. © Royal College of Physicians	316
Figura 116. The pulverisateur developed by Jean Sales-Girons in 1858.....	317
Figura 117. Nebulizador jet-venturi (1950)	317
Figura 118. Modelo que demuestra la impactación inercial (ImIn). Partículas con mayor MMAD representan mayor impactación	319
Figura 119. Sedimentación gravitacional. En azul, partículas pequeñas que logran la sedimentación a pesar de no estar influenciado por fuerzas inerciales	319
Figura 120. Difusión. En azul, partículas pequeñas que logran la sedimentación gracias a los movimientos Brownianos	320
Figura 121. Dispositivos para administración de aerosoles terapéuticos médicos ...	323
Figura 122. Mecanismos mecánicos de los aerosoles.....	329
Figura 123. Mecanismo de acción IDMp	332
Figura 124. Relación flotabilidad-contenido del IDMp.....	332
Figura 125. Tipos de espaciadores para IDMp	334

Index of figures

Figure 1. Regional histologic features of the airway	23
Figure 2. Lateral wall of the nasal cavity	24
Figure 3. Upper airway (lateral view)	27
Figure 4. Laryngeal cartilages (anterior view, posterior view, lateral sagittal view)	30
Figure 5. Laryngeal muscles	32
Figure 6. Lung and lung parenchyma	38
Figure 7. Lungs (anterior view)	40
Figure 8. Concept of barometric pressure and altitude	49
Figure 9. Dalton's Law	52
Figure 10. Henry's Law	53
Figure 11. Boyle's Law	54
Figure 12. Charles' Law	55
Figure 13. Avogadro's Law	56
Figure 14. Gay-Lusacc's Law	57
Figure 15. Diffusion	59
Figure 16. Membrane thickness	59
Figure 17. Hemoglobin dissociation curve for oxygen	66
Figure 18. Effect of pH on the affinity of hemoglobin for oxygen	67
Figure 19. Effect of Pco ₂ on the affinity of hemoglobin for oxygen	68
Figure 20. Effect of temperature on the affinity of hemoglobin for oxygen	69
Figure 21. Effect of 2,3-diphosphoglycerate on the affinity of hemoglobin for oxygen	69
Figure 22. Muscles of the respiratory cycle	78
Figure 23. Inspiratory cycle	79
Figure 24. Pressure-time curve inspiratory cycle	83
Figure 25. Pressure-time curve along the ventilatory cycle	85
Figure 26. Pressure-volume curve	96
Figure 27. Pulmonary Volumes and Capacities	100
Figure 28. Volume Flow Curve	102
Figure 29. Anglo-Saxon School Techniques	111
Figure 30. Positions of Postural Drainage (PD)	112
Figure 31. Thoracic Vibrations	115
Figure 32. Hand position for percussion	117

Figure 33. Positions for applying vibration and percussion.....	118
Figure 34. AFEL in Adult.....	124
Figure 35. Pediatric	124
Figure 36. D.A	126
Figure 37. Phases of Autogenous Drainage.....	127
Figure 38. AAD in infants.....	129
Figure 39. AAD in young children	129
Figure 40. ELTGOL	131
Figure 41. ELPr	132
Figure 42. Directed cough	134
Figure 43. Pediatric Assisted Coughing.....	136
Figure 44. Assisted Cough Adult	136
Figure 45. Provoked cough	138
Figure 46. Adult AFER	140
Figure 47. Pediatric AFER.....	142
Figure 48. EFT.....	143
Figure 49. DRR	145
Figure 50. DRR + I.....	145
Figure 51. GPR	147
Figure 52. BTE	148
Figure 53. Phases of the quiet ventilation technique or diaphragmatic pattern.....	165
Figure 54. Quiet ventilation or diaphragmatic pattern.....	165
Figure 55. Ventilation at mid-inspiratory capacity level	166
Figure 56. Phases of the medium inspiratory capacity ventilation technique	167
Figure 57. Ventilation at maximum inspiratory capacity level.....	168
Figure 58. Phases of the ventilation technique at maximum inspiratory capacity level.....	168
Figure 59. Ventilatory pattern with fractional inspiration.....	169
Figure 60. Phases of the ventilatory pattern technique with fractional inspiration	170
Figure 61. Pattern with inspiratory sighs.....	171
Figure 62. Phases of the inspiratory sigh technique	171
Figure 63. Ventilatory pattern with abbreviated expiration	172
Figure 64. Phases of the ventilatory pattern technique with abbreviated expiration	173
Figure 65. Ventilatory pattern at CRF level	174
Figure 66. Phases of the ventilatory pattern technique at CRF level	174
Figure 67. Ventilatory pattern at RV level	175

Figure 68. Phases of the respiratory pattern technique at RV level	176
Figure 69. EDIC	177
Figure 70. Sustained Deep Inspiration	179
Figure 71. Active breathing cycle	181
Figure 72. Phases of the active breathing cycle	182
Figure 73. Flutter	194
Figure 74. Acapella.....	199
Figure 75. RC- Cornet	201
Figure 76. PEP Mask	204
Figure 77. Thera PEP	207
Figure 78. Cough-Assist	211
Figure 79. Vibrating Vest.....	213
Figure 80. Flow Incentive	218
Figure 81. Volume incentive	219
Figure 82. Use of esophageal balloon in EMR	233
Figure 83. Analog manovacuometer.....	234
Figure 84. Digital manovacuometer	235
Figure 85. Spirometer used for the determination of maximum voluntary ventilation	240
Figure 86. Training devices.....	243
Figure 87. Use of Threshold device	245
Figure 88. PowerBreathe resistive load device	246
Figure 89. PFLEX device	247
Figure 90. Power Breathe device, by IMT Technologies LTD	257
Figure 91. Spiro Tiger device, by Ideag Laboratories AG. Switzerland	258
Figure 92. Hemoglobin dissociation curve by oxygen.....	276
Figure 93. Pulse oximeter.....	279
Figure 94. Arterial gas sampling puncture site.....	281
Figure 95. Manometer and flowmeter.....	282
Figure 96. Flowmeter	283
Figure 97. Oxygen bullet manometer and flowmeter.....	284
Figure 98. Niplex	285
Figure 99. Oxygen tank.....	287
Figure 100. Everflo Respironics Oxygen Concentrator.....	288
Figure 101. Flowmeter connected to wall-mounted oxygen.....	289
Figure 102. Classification of humidifiers	290
Figure 103. Bubble humidifier.....	291
Figure 104. Artificial nose	292

Figure 105. Bernoulli effect	294
Figure 106. Ventury mask.....	296
Figure 107. Nasal cannula	297
Figure 108. Simple mask	299
Figure 109. No re - inhalation mask	300
Figure 110. Ancient schematic representation of aerosol therapy through plants (c.1554 BC)	312
Figure 111. Ancient therapeutic inhaler by Christopher Bennet (1654)	314
Figure 112. Snuff Tablet.....	314
Figure 113. Mudge inhaler	315
Figure 114. Nelson's inhaler. Originally constructed of ceramic (19th century)	315
Figure 115. Cigarettes for the management of asthma. Potter's Asthma Cigarettes. Royal College of Physicians.....	316
Figure 116. The pulverisateur developed by Jean Sales-Girons in 1858.....	317
Figure 117. Jet-venturi nebulizer (1950).....	317
Figure 118. Model demonstrating inertial impaction (ImIn). Particles with higher MMAD represent higher impaction.....	319
Figure 119. Gravitational sedimentation. In blue, small particles that achieve sedimentation despite not being influenced by inertial forces	319
Figure 120. Diffusion. In blue, small particles that achieve sedimentation due to Brownian motion.....	320
Figure 121. Devices for delivery of medical therapeutic aerosols	323
Figure 122. Mechanical mechanisms of aerosols.....	329
Figure 123. Mechanism of action of pMDIs	332
Figure 124. PPMDI buoyancy-content relationship	332
Figure 125. Types of spacers for pMDIs	334

Acerca de los autores

About the Authors

Guillermo Andrés Libreros Mojica

© <https://orcid.org/0000-0002-6266-0317> ✉ guillermo.libreros00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiano. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

José Julián Bernal Sánchez

© <https://orcid.org/0000-0001-9708-8536> ✉ jose.bernal00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiano. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali. Especialista en Fisioterapia Cardiopulmonar de la Universidad del Valle. Magíster en Ciencias Biomédicas de la Universidad del Valle. Docente pregrado de Fisioterapia, Universidad Santiago de Cali, Universidad del Valle, Universidad Pontificia Javeriana Cali.

Luz Edith Pérez Trejos

© <https://orcid.org/0000-0002-7907-7339> ✉ luz.perez@correounivalle.edu.co

Nacionalidad colombiana. Fisioterapeuta de la Universidad del Valle. Magíster en Ciencias Biomédicas de la Universidad del Valle. Docente del Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad del Valle.

Camilo Alejandro Erazo Escobar

© <https://orcid.org/0000-0002-4904-7438> ✉ camilo.erazo00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiano. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Alejandro Segura Ordoñez

© <http://orcid.org/0000-0001-8925-2244> ✉ alejandro.segura00@usc.edu.co

Nacionalidad Colombiano. Fisioterapeuta de la Universidad del Valle. Especialista en Fisioterapia Cardiopulmonar de la Universidad del Valle. Magíster en Ciencias Biomédicas de la Universidad del Valle. Doctorado en curso en Ciencias Biomédicas de la Universidad del Valle. Docente investigador, Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad Santiago de Cali. Integrante grupo de investigación Salud y Movimiento de la Facultad de Salud de la Universidad Santiago de Cali.

Jacqueline Peña Bartolo

© <https://orcid.org/0000-0001-7591-7188> ✉ jaqueline.pena00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Valentina Sánchez Ospina

© <https://orcid.org/0000-0003-2506-8151> ✉ valentina.sanchez00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Estudiante de Fisioterapia de la Universidad Santiago de Cali.

Kelly Johana Guzmán Ruiz

© <https://orcid.org/0000-0003-4407-3263> ✉ kelly.guzman00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Estudiante de Fisioterapia de la Universidad Santiago de Cali.

Sandra Liliana Caisamo Muñoz

© <https://orcid.org/0000-0003-4869-3670> ✉ sandra.caisamo00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Nathali Carvajal Tello

© <http://orcid.org/0000-0002-5930-7934> ✉ nathali.carvajal00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Fisioterapeuta de la Universidad del Valle. Especialista en Fisioterapia Cardiopulmonar de la Universidad del Valle. Magíster en Alta Dirección de Servicios Educativos de la Universidad de San Buenaventura Cali. Docente investigador, Pregrado de Fisioterapia, Universidad Santiago de Cali. Integrante grupo de investigación Salud y Movimiento de la Facultad de Salud de la Universidad Santiago de Cali.

Juan Andrés Laverde Duran

© <https://orcid.org/0000-0002-3106-5742> ✉ juan.laverde01@usc.edu.co

Nacionalidad colombiano. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Julián Rodrigo Quinayás Otaya

© <https://orcid.org/0000-0002-0813-2759> ✉ julian.quinayas00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiano. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Laura Yineth Cantoñi Banguero

© <https://orcid.org/0000-0001-7772-3926> ✉ laura.cantoni00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Lina Verónica Chavarro Aaron

© <https://orcid.org/0000-0003-0743-9596> ✉ lina.chavarro00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Adriana Sánchez Ruiz

© <https://orcid.org/0000-0002-6237-6519> ✉ adriana.sanchez04@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Fisioterapeuta de la Universidad del Valle. Especialista en Rehabilitación Cardíaca y Pulmonar de la Universidad del Rosario. Maestría en curso en Actividad Física, Entrenamiento y Gestión Deportiva de la Universidad Internacional Iberoamericana Puerto Rico. Docente pregrado de Fisioterapia, Universidad Santiago de Cali.

Valeria Camayo Aranda

© <https://orcid.org/0000-0003-3787-0686> ✉ valeria.camayo00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiana. Estudiante de Fisioterapia de la Universidad Santiago de Cali.

José Daniel Ríos Colorado

© <https://orcid.org/0000-0002-9084-2505> ✉ jose.rios01@usc.edu.co

Nacionalidad colombiano. Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Nicolás Estephen Erazo Velasco

© <https://orcid.org/0000-0002-5137-2141> ✉ nicolas.erazo00@usc.edu.co

Nacionalidad colombiano.
Fisioterapeuta de la Universidad Santiago de Cali.

Juan Sebastián Valladales Gutiérrez

© <https://orcid.org/0000-0003-0189-706X> ✉ juan.valladales@gmail.com

Nacionalidad colombiano. Fisioterapeuta de la Escuela Nacional del Deporte.

Pares Evaluadores

Peer Evaluators

William Fredy Palta Velasco

Investigador Junior (IJ)

Universidad de San Buenaventura, Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-1888-0416>

Marco Antonio Chaves García

Fundación Universitaria María Cano, Sede Medellín

© <https://orcid.org/0000-0001-7226-4767>

Carolina Sandoval Cuellar

Investigador Senior (IS)

Universidad de Boyacá

© <https://orcid.org/0000-0003-1576-4380>

Mauricio Guerrero Caicedo

Director del Programa de Comunicación de la Universidad Icesi, Cali

© <https://orcid.org/0000-0001-6374-1701>

Kelly Giovanna Muñoz

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, México

© <https://orcid.org/0000-0001-7408-6108>

Gildardo Vanegas

Universidad del Cauca, Popayán

© <https://orcid.org/0000-0003-3627-4516>

Claudia Ximena Campo Cañar

Universidad del Cauca, Popayán

© <https://orcid.org/0000-0001-5352-3065>

David Leonardo Quitián Roldán

Investigador Junior (IJ)

Uniminuto, Villavicencio

© <https://orcid.org/0000-0003-2099-886X>

Jairo Vladimir Llano Franco

Investigador Senior (IS)

Universidad Libre de Colombia, Seccional Cali

© <https://orcid.org/0000-0002-4018-5412>

Alejandro Alzate

Universidad Icesi y Universidad Católica

© <https://orcid.org/0000-0002-0832-022>

Arsenio Hidalgo Troya

Investigador Asociado (I)

© <https://orcid.org/0000-0002-6393-8085>

Distribución y comercialización

Distribution and Marketing

Universidad Santiago de Cali
Publicaciones / Editorial USC

Bloque 7 - Piso 5

Calle 5 No. 62 - 00

Tel: (57+) (2+) 518 3000

Ext. 323 - 324 - 414

✉ editor@usc.edu.co

✉ publica@usc.edu.co

Cali, Valle del Cauca
Colombia

Diseño y diagramación

Design and layout by

Juan Diego Tovar Cardenas

Universidad Santiago de Cali

✉ librosusc@usc.edu.co

Tel: 5183000 - Ext. 322

Cel: 301 439 7925

Este libro fue diagramado utilizando
fuentes tipográficas Literata en el contenido
del texto y Open Sans para los títulos.

Impreso en el mes de septiembre.
Se imprimieron 100 ejemplares en los
Talleres de SAMAVA EDICIONES E.U.

Popayán - Colombia

Cel: 313 661 9756

2022

Fue publicado por la Facultad de Salud de la
Universidad Santiago de Cali.

Técnicas en fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia, es un libro fundamental para el desempeño del fisioterapeuta en formación y profesionales en fisioterapia, para el desarrollo y fortalecimiento de competencias en el área respiratoria que abarca tres secciones: la primera contiene conceptos fundamentales como anatomía, fisiología y mecánica respiratoria; la segunda comprende las técnicas de desobstrucción bronquial, reexpansión pulmonar, instrumentales y el entrenamiento de músculos respiratorios; la sección tres, oxigenoterapia y aerosolterapia. Los autores describen conceptos desde lo teórico y práctico basados en evidencia científica actualizada, además, incluyen imágenes ilustrativas y tablas descriptivas que facilitan una mejor comprensión de los temas abordados.



VIGILADA
MINISTERIO DE
EDUCACIÓN



EDITORIAL