Manual de Espirometría

Juan Carlos Vázquez García
Rogelio Pérez Padilla

3a. Edición

www.medigraphic.org.mx

Manual de Espirometría

Tercera edición

Juan Carlos Vázquez García
Rogelio Pérez Padilla

Manual de Espirometría, Tercera edición

Derechos reservados conforme a la ley
© Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias
Ismael Cosío Villegas

Ninguna parte de esta obra puede
ser reproducida o transmitida, mediante
ningún sistema o método, electrónico o mecánico
sin consentimiento por escrito del titular del copyright.

Esta obra comprende 1,100 ejemplares
más sobrantes para reposición.

Editado e impreso en México por:

graphimedic
S.A. de C.V.

Noviembre de 2018

Dr. Juan Carlos Vázquez García
Neumólogo y Maestro en Ciencias Médicas.
Director de Enseñanza,
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (INER),
Profesor Titular de Neumología,
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Rogelio Pérez Padilla
Neumólogo e Investigador Titular en Ciencias Médicas.
Ex-Director General del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.
Fundador del Curso de Entrenamiento en Espirometría y Ex-Presidente de la Asociación Latinoamericana del Tórax

Revisores y Profesores de Curso de Espirometría

Dr. Carlos Aguirre
Jefe del Laboratorio de Fisiología Pulmonar, Fundación Neumológica Colombiana

Dra. Rosaura Benítez Pérez
Jefe del Departamento de Educación Continua, INER

Dr. Alejandro Casas
Director Médico, Fundación Neumológica Colombiana

Dra. Silvia Cid Juárez
Médico Adscrito al Laboratorio de Fisiología Respiratoria, INER

Dr. Arturo Cortés Tellez
Profesor del Curso, Hospital Regional de Alta Especialidad de la Península de Yucatán

Dr. Rodrigo Francisco del Río Hidalgo
Alumno de Maestría en Ciencias Médicas, INER

Dra. Laura Gochicoa Rangel
Jefa del Laboratorio de Fisiología Respiratoria, INER

Dr. Orlando López Jove
Director de Curso, Buenos Aires, Argentina

Dra. María Nelly Márquez
Montevideo, Uruguay

Dr. José Luis Miguel Reyes
Médico Adscrito a la Clínica de Asma, INER

Dra. Selene Guerrero Zúñiga
Médico Adscrito a la Clínica de Sueño, INER

Dr. Sergio Monraz Pérez
Profesor del Curso, INER

Dra. Adriana Muiño
Montevideo, Uruguay

Jonatan Pereira
Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

Elisa Sánchez Gallen
Profesora del Curso de Espirometría, INER

Dra. Patricia Schönfeldt Guerrero
Instituto Nacional del Tórax y Universidad de Chile

Mónica Silva Cerón
Coordinadora Técnica, Laboratorio de Fisiología Respiratoria, INER

Dr. Luis Torre Bouscoulet
Director de Curso, Hospital Médica Sur

www.medigraphic.com

www.medigraphic.org.mx

Contenido

Prólogo INER 7

Prólogo ALAT 9

Presentación 12

Capítulo 1
Introducción a la espirometría 15

Capítulo 2
Historia de la espirometría 19

Capítulo 3
Estructura y función respiratoria 23

Capítulo 4
Mecánica de la respiración 30

Capítulo 5
Generalidades de espirometría 34

www.medigraphic.org.mx

Capítulo 6
Estandarización de la espirometría 38

Capítulo 7
Espirómetros 42

Capítulo 8
Indicaciones de la espirometría 49

Capítulo 9
Maniobra espirométrica o de FVC 54

Capítulo 10
Gráficas de volumen-tiempo y de flujo-volumen 61

Capítulo 11
Aceptabilidad y repetibilidad de la espirometría 64

Capítulo 12
Prueba de respuesta al broncodilatador 77

Capítulo 13
Mediciones espirométricas y ajustes de volumen 81

Capítulo 14
Interpretación de la espirometría en 10 pasos.
Competencias fundamentales 87

Capítulo 15
Organización de un Centro de Espirometría 109

Capítulo 16
Control de calidad de los espirómetros 116

Capítulo 17
Aseguramiento de calidad de la espirometría 124

Capítulo 18
Evaluación de la deficiencia y la discapacidad en
enfermedades respiratorias ocupacionales 128

Bibliografía 137

Anexos 143

Abreviaturas 173

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

Prólogo INER

Desde su origen, en marzo de 1936, el Sanatorio para Enfermos de Tuberculosis de Huipulco se distinguió por ser un hospital escuela. Al año de actividades hospitalarias se organizó el primer curso presencial relacionado con el tema central: la tuberculosis. Década tras década esta actividad de difusión del conocimiento ha crecido, desde los temas más básicos hasta los más complejos de la ciencia y la medicina actual. Hoy en día el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas es un reconocido centro de medicina respiratoria. La diversidad de áreas específicas para el estudio de las enfermedades respiratorias, el tratamiento médico-quirúrgico y de estudio básico, desde animales de experimentación hasta las moléculas más específicas, ha permitido el desarrollo de grandes expertos del conocimiento que actualmente difunden su saber a través de todos los medios de educación.

El laboratorio de fisiología respiratoria es un sólido pilar del INER, su equipamiento actual y la excelencia de su personal profesional han sido la base para la expansión del estudio funcional respiratorio de los pacientes. La profesionalización del personal de salud en este campo, el impulso y crecimiento de los laboratorios de fisiología en México y América Latina son, por supuesto, fuente de múltiples manuscritos de gran utilidad práctica.

Bajo esta línea de trabajo, actualmente se publica el Manual de Espirometría en su 3ª

www.medigraphic.org.mx

edición. Se trata de un texto amplio, pero a la vez detallado, planeado y escrito con una amplia cobertura de todos los aspectos del uso de la espirometría: detalles técnicos, equipos, indicaciones, contraindicaciones, interpretación, control de calidad e incluso la organización de un centro de espirometría. Es evidente que los autores no escatimaron esfuerzos para la planeación, organización y conclusión de este magnífico manual. Quienes se interesan en este tema podrán encontrar ahora la información que buscan, ya que no se ha dejado nada por revisar. La necesidad de promover el uso de la espirometría en todos los niveles de atención se verá reforzada y facilitada gracias a este texto.

Juan Carlos Vázquez García y José Rogelio Pérez Padilla, autores del Manual de Espirometría, son dos de los neumólogos más reconocidos de nuestro país y de América Latina, investigadores incansables, excelentes clínicos, docentes por naturaleza, visionarios de las necesidades de salud y promotores de la mejora de la calidad en la atención a los pacientes. El trabajo de ambos investigadores que desde hace varios años desempeñan en el campo de la fisiología respiratoria los ha vuelto referentes y líderes en el tema y hoy comparten ese cúmulo de experiencias y conocimientos a través de este manual.

El éxito está garantizado, sin duda será un detonador de los puntos fundamentales de la espirometría. Enhorabuena.

Dr. Jorge Salas Hernández
Director General.
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias
Ismael Cosío Villegas.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

Prólogo ALAT

Para fin del siglo XXI, 11 billones de personas habitarán nuestro planeta y serán el 10% del total de los seres humanos que alguna vez habitaron la tierra. Hasta el inicio de la medicina moderna, la esperanza de vida al nacer apenas excedía los 30 años y sólo el 40% superaba el primer año de vida. Las enfermedades infecciosas, las hambrunas y las guerras eran las condiciones que amenazaban la vida de la población. Las mejoras en las condiciones de vida y el control de las enfermedades infecciosas alteraron el escenario descripto.

Durante el siglo XX se redujeron y se retrasaron las muertes, disminuyó la incidencia y prevalencia de las infecciones resultando en un incremento en la expectativa de vida de la población mundial que hoy supera los 70 años. Sólo la violencia y la emergencia del VIH, con sus enfermedades oportunistas, parecían ensombrecer las esperanzas. Sin embargo, emergieron las enfermedades no comunicables (ENC) y sus principales determinantes como el tabaquismo, la contaminación del medioambiente, la dieta, el sedentarismo, el estrés y el envejecimiento poblacional que, junto a los fenómenos sociales como las disparidades, las comunicaciones y nuevamente la violencia, desafiaron la meta de "Salud para Todos para el año 2000". Las ENC se vaticinan como la gran epidemia del siglo XXI, ya que causarán el 85% de las muertes en todo el mundo, entre ellas se destacan las enfermedades respiratorias crónicas.

www.medigraphic.org.mx

El pulmón es el órgano del cuerpo que tiene mayor relación con el medioambiente, exponiéndose en forma constante a través de la respiración. Esta función es vital para la vida, su trastorno incapacita y provoca la sensación más angustiosa que puede sufrir un ser vivo. Las cinco grandes (EPOC, asma, infecciones respiratorias agudas, tuberculosis y cáncer de pulmón) sumadas a los trastornos respiratorios del sueño, hipertensión pulmonar y enfermedades por exposición laboral son una gran carga para la salud pública con una prevalencia estimada de 1 billón de personas afectadas. La mitad de los casos prevalentes son por EPOC y asma (aproximadamente 250 millones casos de cada una) y la espirometría cumple un rol central para ambas condiciones.

La espirometría o la medición del volumen inhalado y exhalado de los pulmones en función del tiempo y las curvas que se componen del flujo de aire, en particular con un esfuerzo máximo luego de una inspiración completa, es una técnica acabada en los últimos 50 años del siglo XX y que, si bien se percibe simple, implica procesos estandarizados y rigurosos para poder arribar a conclusiones válidas, reproducibles y diagnósticas. Estos procesos se inician con la elección del equipamiento a utilizar, la preparación y condiciones de medición, la elegibilidad de los sujetos, sus indicaciones y contraindicaciones, el número de mediciones, las características de éstas para considerarlas válidas, los valores de comparación, la interpretación, entre otros parámetros que deben ser considerados. En 1979, la American Thoracic Society (ATS) publica el documento de estandarización de la espirometría luego del workshop Snowbird y en 1983 se publica un documento similar por la European Community for Steel and Coal. Ambos documentos, que eran similares, fueron periódicamente actualizados por ATS y European Respiratory Society (ERS), pero recién, en 2005, ambas sociedades emitieron una publicación conjunta que unifica definitivamente los estándares. Todos estos documentos hacían foco en los procesos de estandarización y calidad, pero no consideraron una diseminación diferente de la publicación científica ni su aplicación como instrumento educativo para el personal que realiza e interpreta la espirometría.

En el 2002, un grupo de investigadores de ALAT realizó el primer estudio en Latinoamérica de prevalencia de EPOC (PLATINO), condición que requiere la espirometría para su diagnóstico y, por lo tanto, la estandarización y la calidad de las mediciones era un punto crítico a resolver en las cinco ciudades participantes. La solución se encontró en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Dr. Ismael Cosío Villegas de la ciudad de México, donde ambos autores del presente manual contaban con experiencia y acreditación como centro formador en el modelo NIOSH. De las 5,315 mediciones realizadas en dicho estudio, 95% alcanzaron criterios exigidos por el protocolo de entonces y 89% cumplieron con las exigencias propuestas en el documento publicado en 2005 por ATS y ERS posteriormente a la ejecución. Estos resultados evidenciaron la efectividad de la intervención educativa y la estandarización para

www.medigraphic.org.mx

la capacitación en espirometría llevados a cabo para el estudio. Esta experiencia se capitalizó con curso sistematizado en Latinoamérica dictado por los expertos de ALAT desde el 2004. El material educativo utilizado se resumió en el MANUAL PARA EL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LA ESPIROMETRÍA POR EL MÉDICO publicada en el 2007. El presente documento es la tercera edición, ampliada, actualizada y con un nuevo orden en la presentación de contenidos en 18 capítulos y anexos, de manera que lo hace apropiado para la formación de técnicos.

La espirometría es básica y esencial en la práctica de la medicina respiratoria, sin embargo, está subutilizada, con frecuencia inapropiadamente practicada y poco disponible. Las evidencias que soportan estas afirmaciones provienen de los estudios de base poblacional, que expone la vida real y contrasta con las publicaciones en contextos de investigación. Este escenario interpela a los organismos relacionados con la salud, ante el desafío sanitario del siglo XXI, a desarrollar estrategias para promover la espirometría como una técnica accesible, universal y mandatoria para el diagnóstico y manejo de las enfermedades respiratorias. ALAT está comprometido en esta tarea, liderando en Latinoamérica la promoción y capacitación de espirometrías de calidad en todo el continente. Sin duda, esta nueva edición del manual, que próximamente estará disponible también en portugués, es imprescindible para alcanzar esta misión.

Prof. Dr. Gustavo Enrique Zabert
Presidente ALAT 2018-2020

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

Presentación

La espirometría es una de las pruebas diagnósticas más importantes de la medicina respiratoria y de la medicina en general. Su relevancia es comparable a otras pruebas, como la radiografía de tórax, la medición de la presión arterial o la glucemia. La razón de ello es su gran utilidad para medir la salud pulmonar y para diagnosticar las enfermedades respiratorias crónicas de tipo obstructivo, como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), ambas, problemas de salud pública en todo el mundo. La elevada exposición a tabaquismo, humo de biomateriales, alérgenos y agentes nocivos atmosféricos producto de la contaminación atmosférica explica la elevada prevalencia de las enfermedades respiratorias, así como la población en riesgo de padecerlas. En contraste con este escenario y contrario a lo que se podría esperar, la disponibilidad y accesibilidad a la espirometría sigue siendo sumamente escasa. Los primeros espirómetros datan de hace más de 200 años, más de un siglo antes de la invención de la radiografía y del electrocardiograma. Sin embargo, el desconocimiento en la realización de la prueba y en su interpretación todavía es un reto mayor y una deuda pendiente. Sin duda, todo esfuerzo encaminado a mejorar el conocimiento y las competencias para su uso es una de las mejores inversiones para cambiar este escenario.

www.medigraphic.org.mx

En marzo de 1995, se certificaron los primeros tres espirometristas mexicanos, entre ellos

el Dr. Rogelio Pérez Padilla, en Albuquerque, Nuevo México, gracias a una colaboración directa con los doctores Jonathan Samet y David Coultas, este último director de curso de espirometría del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH, por sus siglas en inglés). El 17 y 18 de marzo de 1995, se realizó el Primer Curso de Espirometría bajo los estándares del NIOSH, en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México (INER). En 1996, NIOSH reconoció oficialmente al Dr. Pérez Padilla como primer director de curso y al INER como sede con el número 107, siendo por muchos años la única fuera del territorio de los Estados Unidos. El Dr. JC Vázquez, segundo director de curso aprobado por NIOSH, implementó el curso de espirometría como una actividad regular de educación continua desde 1998; posteriormente, el curso también ha sido auspiciado por la Sociedad Mexicana de Neumología y Cirugía de Tórax (SMNyCT). En la actualidad, el INER cuenta con tres directores de curso y un número mucho mayor de profesores e instructores. A la fecha, se han realizado más de 75 cursos con más de 1,200 espirometristas certificados.

Durante los años 2002 a 2004, el grupo mexicano implementó oficialmente el curso de espirometría en América Latina, con fines de investigación para el proyecto PLATINO (Proyecto Latinoamericano de Investigación en Obstrucción Pulmonar), el cual tuvo sede en las ciudades de San Paulo, Ciudad de México, Montevideo, Santiago y Caracas. En el año 2004, se estableció como un proyecto mayor y un curso oficial de la Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT). En este mismo año, se impartió el primer curso para entrenadores de espirometría durante el IV Congreso ALAT en Buenos Aires, Argentina. A la fecha, se han realizado más de 80 cursos en toda América Latina y el Caribe.

En un principio, para el curso se usó una traducción de los materiales del curso del NIOSH, pero con el tiempo y la experiencia obtenida se desarrollaron materiales completamente originales. El primer manual de espirometría se editó para el primer curso ALAT. En el año 2007, se editó un segundo manual enfocado en la interpretación de la prueba, así como una guía de bolsillo que se usó principalmente para un proyecto de capacitación de médicos generales en México. Durante tres años se impartieron más de 120 cursos en toda la República Mexicana con casi 2,400 médicos capacitados.

Después de 23 años de experiencia, ahora tenemos el gusto de presentar el Manual de Espirometría en su 3ª Edición. Para esta nueva versión, se han integrado y actualizado los materiales técnicos (primera edición) y los de interpretación (segunda edición) en un solo documento. A lo largo de 18 capítulos, el estudiante de espirometría encontrará las bases históricas, de Anatomía, Fisiología y Fisiopatología, la información técnica de los espirómetros y principalmente los procedimientos estandarizados para la realización e interpretación de la prueba. Además, se incluyen los apartados necesarios sobre los procedimientos de higiene y seguridad, de control de calidad y de aseguramiento

www.neumografic.org.mx

de calidad, así como para la organización de un Centro de Espirometría que puede ser la base de un laboratorio de pruebas de función respiratoria. Los procedimientos descritos se apegan a las recomendaciones internacionales establecidas por la Sociedad Americana del Tórax y la Sociedad Europea Respiratoria (ATS/ERS, 2005), con pocos ajustes hechos por los autores para fines didácticos o de adaptación al contexto de América Latina y sin cambios sustantivos a los estándares. Por su relevancia en medicina respiratoria y ocupacional, se incluye un apartado (capítulo 18) relacionado con los procedimientos de valoración de la deficiencia respiratoria en enfermedades respiratorias de origen ocupacional, los cuales son consistentes con otras recomendaciones oficiales. Finalmente, se incluyen anexos relacionados con procedimientos, ejercicios de interpretación y materiales que ayuden a la implementación y uso médico de la prueba.

Este Manual de Espirometría es una base fundamental para el entrenamiento de todo el personal médico y paramédico responsable de la realización, supervisión e interpretación de esta prueba. Además, se complementa con materiales educativos, presentaciones, ejercicios prácticos, videos, etc.; todos, materiales oficiales para los cursos de espirometría del INER, de la SMNyCT, de la ALAT y de las sociedades nacionales e instituciones de América Latina que decidan adoptarlos. Las mayores sociedades profesionales de medicina respiratoria han hecho grandes esfuerzos para estandarizar la espirometría y el entrenamiento técnico. Sin embargo, la experiencia latinoamericana ha sido históricamente original, muy sólida y exitosa; ha estado estrechamente ligada a proyectos de investigación mayores e internacionalmente reconocidos, lo que ha demostrado la efectividad de este modelo educativo. Estamos seguros de que esta nueva etapa del proyecto será igual o mayormente exitosa.

Juan Carlos Vázquez García
Rogelio Pérez Padilla

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

1

Introducción a la espirometría

El proceso de evaluación de la salud pulmonar o del impacto funcional de la enfermedad respiratoria requiere contar con pruebas de función respiratoria (PFR) que auxilian en el diagnóstico, en la graduación del daño y en el seguimiento. La función pulmonar puede explorarse desde los componentes de mecánica respiratoria y de intercambio de gases (Figura 1.1). La valoración mecánica explora la integridad de los volúmenes pulmonares y su desplazamiento a través de la vía aérea, la cual depende de las características elásticas de los pulmones (distensibilidad) y de la caja torácica, la permeabilidad de la vía aérea (resistencia) y la fuerza muscular suficiente como sistema motor respiratorio. La manera más sencilla, confiable y accesible de medir la mecánica de la respiración es con una espirometría. Por otra parte, la función primordial de los pulmones es permitir el intercambio de gases, oxígeno y bióxido de carbono entre la atmósfera y la sangre. Existen PFR que valoran este aspecto funcional; la prueba de difusión pulmonar de monóxido de carbono (DLCO) es la más recomendada. La gasometría arterial o sus sustitutos no invasivos, como la oximetría de pulso, son también pruebas de intercambio de gases y de transporte en la sangre. En el contexto clínico, siempre es útil contar con prueba de función mecánica y otra de intercambio gaseoso. Las PFR son accesibles y confiables en los ambientes hospitalario, de consultorio y de salud pública.

www.medigraphic.org.mx

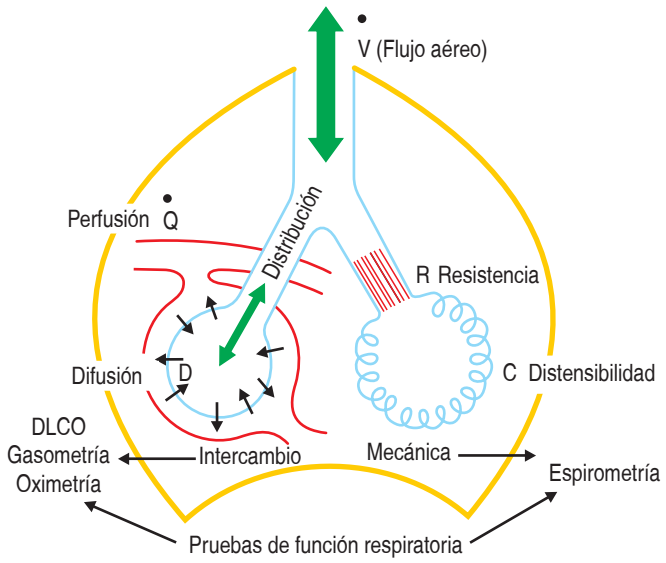


Figura 1.1: Se ilustran los determinantes de la función respiratoria mecánica y de intercambio de gases. La espirometría evalúa la función mecánica, que depende del tamaño de los pulmones y sus propiedades elásticas (distensibilidad), así como la permeabilidad bronquial (resistencia) y la integridad del tórax y músculos respiratorios como componente motor. Las pruebas de intercambio de gases, como difusión pulmonar de monóxido de carbono (DLCO), la gasometría y la oximetría, ayudan a valorar el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono entre los alvéolos y la sangre.

El uso médico de la espirometría fue posible gracias a la invención de los espirómetros desde hace más de 200 años, así como la incorporación de prueba para uso clínico John Hutchinson. Hutchinson fue un médico inglés que diseñó su propio espirómetro; originalmente, publicó su trabajo en 1846, cuando ya había acumulado una experiencia de miles de espirometrías. El trabajo de Hutchinson precede por casi 50 años la invención de la radiografía por Wilhelm Roentgen (1895) y por casi 60 años al electrocardiograma de Willem Einthoven (1903). Sin embargo, la espirometría es todavía muy pobremente una prueba utilizada por el médico en general, particularmente en países en desarrollo. La razón de esto se ha explicado por el costo de los equipos y un mito en la complejidad de su interpretación. No obstante, en la actualidad existen equipos para uso de consultorio y que son accesibles a muchos médicos; incluso, ya existen equipos portátiles de muy bajo costo para el uso individual por parte de pacientes.

La espirometría sirve para medir el volumen de aire que se puede exhalar y que es proporcional al tamaño de los pulmones. Además, se puede determinar si los bronquios están o no obstruidos. Cuando los pulmones son pequeños, sea por una enfermedad pulmonar o bien por nacimiento, se puede meter y sacar poco de aire de los mismos. Unos pulmones grandes

www.medigraphic.org.mx

pueden recibir más aire que unos pequeños, lo que se detecta fácilmente con una espirometría. Al volumen de aire (en litros) que se puede sacar de los pulmones totalmente inflados se le llama capacidad vital. Por otro lado, cuando los bronquios están obstruidos, el aire dentro de los pulmones sale más lento; esto es como el caso de un tubo, por el que pasa menos agua si es de menor calibre. Varias enfermedades se caracterizan por obstruir los bronquios, como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC); por lo tanto, se detectan con la espirometría, ya que los individuos que la padecen sacan el aire más lentamente; esto se define como obstrucción al flujo de aire.

Los valores de la espirometría, como la capacidad vital, dependen de varios factores. Uno muy importante es el tamaño de los pulmones. Una persona de estatura grande tiene pulmones más grandes que una persona de baja estatura. Otro factor importante es el sexo de la persona. Las mujeres tienen los pulmones aproximadamente 30% más pequeños que los hombres, aunque tengan la misma talla y edad, debido a que el tórax del hombre es más grande. El tercer factor importante es la edad, ya que conforme la persona envejece, hay un deterioro en las propiedades elásticas de los pulmones, lo que disminuye los valores espirométricos.

Una desventaja de la espirometría es que requiere de la cooperación de las personas, y de un esfuerzo máximo. Si la persona no hace un esfuerzo máximo, las alteraciones se confunden con las de una enfermedad pul-

Tabla 1.1: Herramientas básicas de evaluación de diagnóstico y manejo en medicina. La espirometría es comparable en utilidad a otros instrumentos como el baumanómetro o el electrocardiograma; sin embargo, es mucho menos utilizada.

Característica	Baumanómetro	ECG	Espirómetro
Utilidad en la evaluación de salud (fumadores, laboral)	✓✓	✓	✓✓✓
Utilidad diagnóstica	HAS	Isquemia, IM, arritmias	Asma, EPOC, otras
Necesario para iniciar tratamiento	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Entrenamiento requerido	✓	✓✓	✓✓✓
Participación del paciente	✓	✓	✓✓✓
Dificultad de interpretación	✓	✓✓✓	✓✓
Costo	✓	✓✓	✓✓
Uso	✓✓✓	✓✓✓	✓

Abreviaturas: ECG = electrocardiograma, HAS = hipertensión arterial sistémica, IM = infarto al miocardio, EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

monar. La maniobra espirométrica no es una maniobra respiratoria habitual, por lo que su calidad depende del aprendizaje de la misma. Los técnicos que realizan la prueba tienen la obligación de explicar bien el procedimiento y demostrar la maniobra, para que los individuos que la realizan la hagan bien. No obstante, la espirometría es una prueba sencilla, poco molesta y que debería usarse ampliamente en medicina. Su utilidad para la valoración de salud respiratoria y como herramienta diagnóstica en medicina es similar a la del baumanómetro, el electrocardiograma o la medición de glucosa en sangre (Tabla 1.1).

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

2

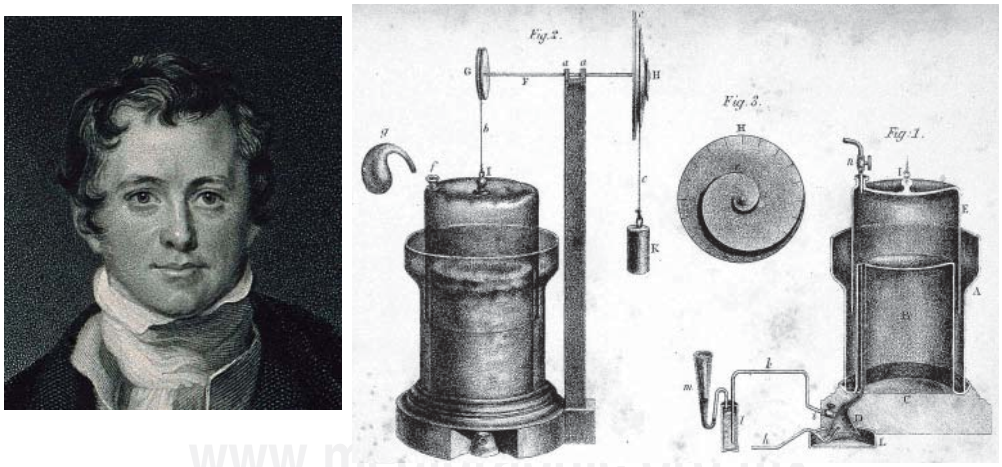
Historia de la espirometría

La medición de la función respiratoria es extraordinariamente antigua. La primera medición conocida de un parámetro respiratorio corresponde a Claudio Galeno, médico de emperadores y gladiadores de la Roma antigua. Alrededor del año 200 d.C., Galeno describió un experimento en el que hizo a un niño respirar de forma repetida y directa en una bolsa hecha con una vejiga animal. Aunque Galeno no hizo mediciones absolutas del aire respirado, describió que el volumen del aire era constante. Las primeras mediciones de volúmenes absolutos de aire conocidas fueron hechas por medio de desplazamiento de agua (principio de Arquímedes) por el médico y físico italiano Alfonso Borelli en 1681. En el año 1700, James Jurin, médico inglés, midió su propio aire respiratorio (volumen corriente) y su máximo volumen de aire desplazable (capacidad vital), los cuales calculó en 650 y 3,610 mL, respectivamente.

Antoine L de Lavoisier (1743-1794), considerado el padre de la química moderna, introdujo sus teorías de combustión (también relacionadas con la respiración) y transformación de la materia en energía. Lavoisier tuvo un interés particular en la medición del volumen y el contenido de los gases respiratorios; construyó su propio espirómetro, conocido en la época como gasómetro, el cual constaba ya de una campana sumergida en un recipiente con agua (Figura 2.1). Lavoisier estudió con detalle los cambios en los gases respiratorios en reposo y en ejercicio.

www.medigraphic.org.mx

Figura 2.1: Estudio de la respiración por Antonio Lavoisier en el siglo XVIII. La lámina fue dibujada por su esposa, quien aparece en el extremo derecho y quien era su asistente. En la imagen se puede apreciar un individuo respirando directamente en sistema de tubos conectados a recipientes recolectores de aire, uno de ellos en forma de campana sumergida en un recipiente con agua para calcular los volúmenes de gas. Credit: Wellcome Collection. CC BY. https://wellcomecollection.org/works/f76ft7fq



www.medigraphic.org.mx

Figura 2.2: Humphry Davy (1800), químico inglés quien fue el primero en describir un espirómetro manual como es conocido hasta la fecha actual, aunque en la época era llamado todavía gasómetro. Este dispositivo ya estaba compuesto por una campana sumergida en un cilindro con agua e incluye un sistema de poleas para registrar los trazos respiratorios.
Credit: Wellcome Collection. CC BY. https://wellcomecollection.org/works/g9uumadj. https://wellcomecollection.org/works/g3wrmhtx

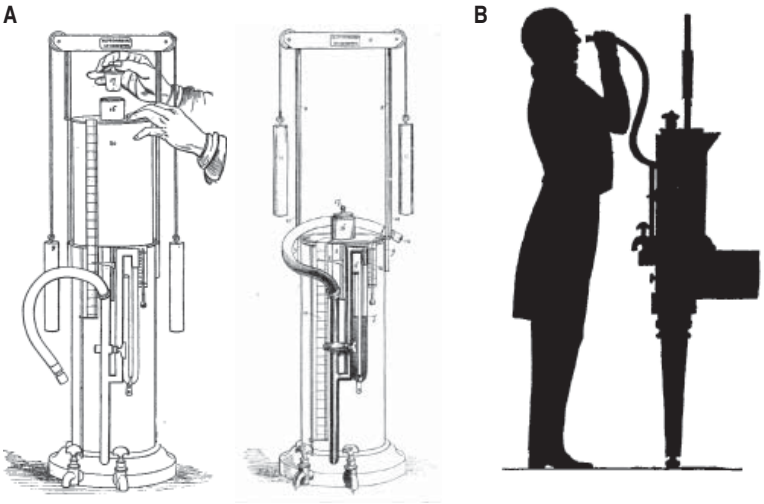


Figura 2.3:

Esquema del espirómetro original descrito por John Hutchinson. Los componentes principales incluyen el cilindro con agua **(A)**, la campana que se sumerge en el cilindro **(B)**, la manguera que conecta la boquilla al interior de la campana y el sistema de poleas que desplaza la pajilla que dibuja el espirograma durante las maniobras respiratorias. En el panel de la derecha se muestra la silueta clásica del mismo Hutchinson ilustrando la posición correcta para realizar la espirometría, valida aún en nuestros días.

La primera descripción de un espirómetro manual, como se conocen hasta la actualidad, corresponde al químico inglés Humphry Davy en el año 1800 (Figura 2.2). Este dispositivo, todavía denominado como gasómetro, ya estaba compuesto por una campana sumergida en un cilindro con agua que incluía un sistema de poleas para el registro de los trazos respiratorios. Además, Davy fue el primero en calcular el consumo de oxígeno (VO_2) en 484 mL/min y la producción de bióxido de carbono (VCO_2) en 447 mL; también fue el primero en medir el volumen residual (510 mL) por medio de la técnica de dilución de hidrógeno, misma que aún se ocupa a la fecha en los laboratorios de función pulmonar.

El médico inglés John Hutchinson (1811-1861) es considerado el padre de la espirometría, ya que fue el primero en llamarla de esta forma y de hacer una descripción amplia de todos los volúmenes y capacidades pulmonares. Hutchinson se graduó como médico a los 19 años y desde entonces se empleó en una compañía de seguros; desarrolló un interés personal para medir salud respiratoria y construyó su propio espirómetro (Figura 2.3). Cuando publicó su trabajo original en 1846 (*On the capacity of the lungs, and on the respiratory functions, with a view of establishing a precise and easy method of detecting disease by the spirometer*. Med Chir Trans 1846; 29: 137-252), había acumulado una experiencia de miles de espirometrías. Hutchinson describió la espirometría no cronometrada con su espirómetro volumétrico sellado con agua y él fue quien acuñó por primera vez el término de capacidad vital, ya que pensó que correlacionaba con la supervivencia de las personas. Además, describió el aire residual, aire de reserva, aire respiratorio (ahora volumen corriente), aire complementario (volumen de reserva inspiratoria) y la frecuencia respiratoria (Figura 2.4). También fue el primero en describir la correlación de la capacidad vital con la esta-

www.medigraphic.org.mx

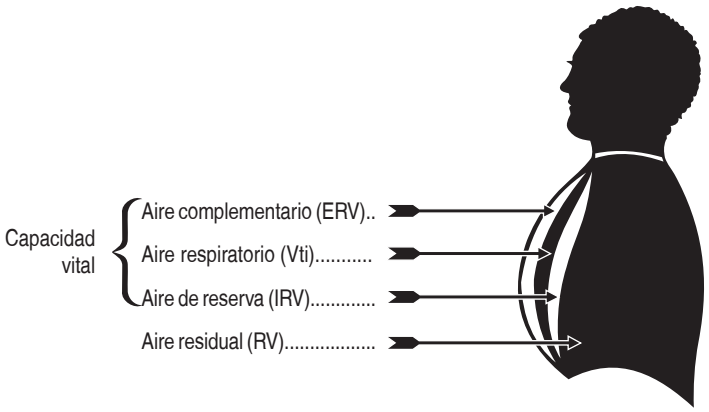


Figura 2.4:

Descripción original de John Hutchinson en 1846 de los volúmenes y capacidades pulmonares que incluyen el aire respiratorio (volumen corriente o Vti), el aire complementario o volumen de reserva espiratoria (VRE o ERV), el aire de reserva o volumen de reserva inspiratoria (VRI o IRV), cuya suma da la capacidad vital (VC o CV) y aire residual o volumen residual (VR o RV).

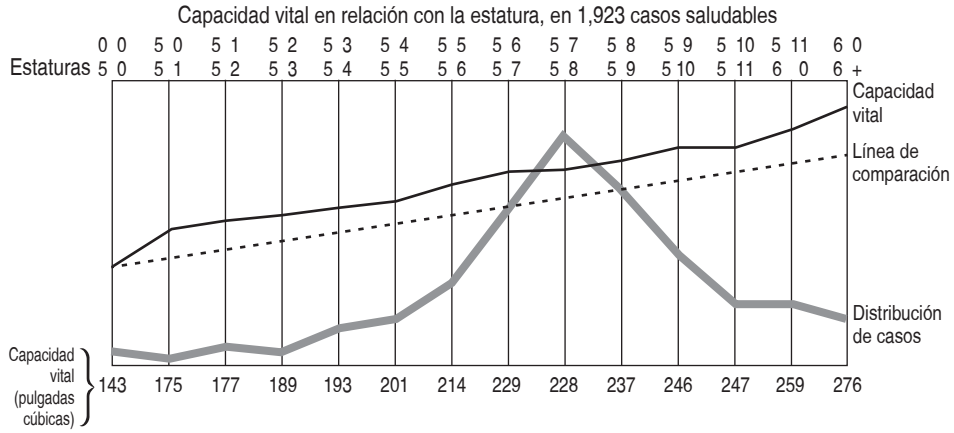


Figura 2.5:

Descripción original de la relación directa entre la estatura de las personas y la capacidad vital (números en la base del cuadro). La línea continua superior corresponde a la capacidad vital de 1,923 personas sanas. Hutchinson fue el primero en describir que el volumen del pulmón aumenta con la estatura de los individuos.

tura y la circunferencia del tórax y en asociar el impacto del crecimiento y desarrollo, y de las principales enfermedades (Figura 2.5).

En las décadas posteriores al trabajo de Hutchinson, se describieron diversos dispositivos para medir la capacidad vital. La espirometría cronometrada con la descripción de la capacidad vital forzada (CVF o FVC) corresponde a Strohl en 1919. La capacidad ventilatoria máxima calculada fue descrita en 1932 (Jansen) y la medida en 1933 (Hermannsen). El volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF_1 o FEV_1) y su relación con la capacidad vital (cociente FEV_1/VC) fue descrita independientemente en Francia por Tiffeneau R y Pinnelli A en 1948 y por Gaensler en Estados Unidos en 1951.

El primer flujómetro mecánico para la medición del flujo pico fue inventado por Wright en 1950 y la curva flujo-volumen fue descrita en detalle por Fry y Hyatt en 1960. La primera gran propuesta sobre los detalles técnicos de la espirometría fue la estandarización de la ATS en 1978. Éste fue el fundamento de los consensos posteriores y más recientes que corresponden a 1994 y 2005 (estándares ATS/ERS 2005).

www.neurographic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

3

Estructura y función respiratoria

Componentes del sistema respiratorio

Todas las especies vivas han evolucionado cuidadosamente para adaptarse en tiempo y espacio al medio que las rodea. La forma o anatomía de los seres vivos representa una adaptación físico-funcional al medio ambiente. El sistema respiratorio no es la excepción; representa un diseño altamente especializado para el intercambio de gases, principalmente oxígeno (O_2) y bióxido de carbono (CO_2) entre la atmósfera y la sangre. Está conformado por tres componentes principales: 1) una vía de conducción del aire desde el medio externo hasta las zonas de intercambio, lo integran la nariz y el resto de la vía aérea superior hasta los bronquiolos terminales; 2) el área de intercambio gaseoso conformada principalmente por las unidades alvéolo-capilares, y 3) un sistema motor encargado de ejecutar la mecánica respiratoria y que está compuesto por la caja torácica con sus componentes óseos y los músculos de la respiración, así como su integración al sistema nervioso central para la conducción nerviosa automática o voluntaria de la respiración (Figura 3.1).

www.medigraphic.org.mx

Vía aérea

La vía aérea superior incluye la nariz, la faringe y la laringe (Figura 3.2). La estructura interna de la nariz está dividida por la mitad por el tabique nasal; a su vez, cada segmento lateral

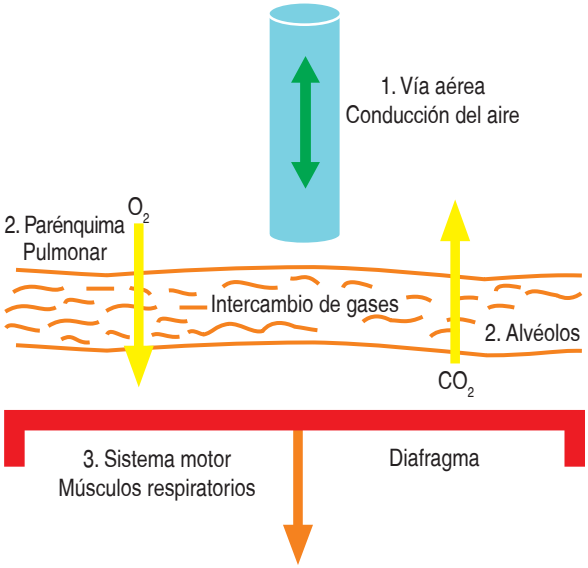


Figura 3.1: Componentes del sistema respiratorio. 1) Vía de conducción del aire, compuesto por la vía aérea superior e inferior; 2) sistema de intercambio de gases compuesto por las unidades alvéolo-capilar, donde se intercambia el oxígeno y el bióxido de carbono; y 3) un sistema motor compuesto por los músculos respiratorios, principalmente se ilustra el diafragma y los centros respiratorios con origen en el sistema nervioso central.

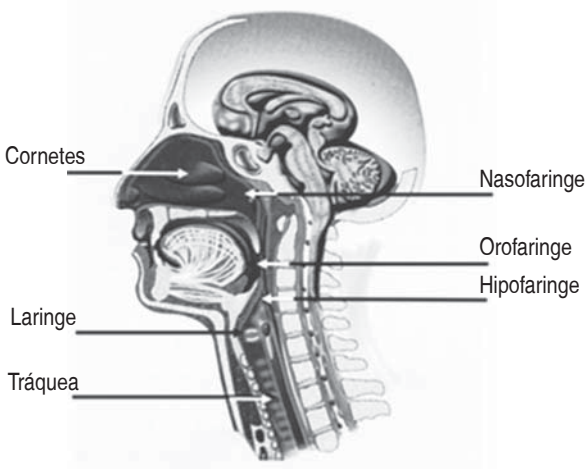


Figura 3.2: Corte sagital de cara y cráneo. Se ilustra la vía aérea superior en sus segmentos de nariz, faringe y laringe.

está dividido por tres estructuras adicionales llamadas cornetes o turbinas, cuya principal función es ampliar la zona de contacto entre la mucosa y el aire. Esto facilita la función nasal de filtrado, humedecimiento y calentamiento del aire mientras se conduce al resto de la vía aérea. El proceso de filtración es un mecanismo de defensa eficiente y no permite pasar partículas mayores a 10 μ. La mucosa nasal es rica en vasos sanguíneos, lo que permite su función. Sin embargo, la estructura y función nasal tiene un costo en resistencia al paso del aire; casi la mitad de la resistencia respiratoria total se puede localizar en la nariz y es sustancialmente menor a la resistencia de la boca. Por esta razón, en situaciones en las que la vía aérea nasal es insuficiente, como sucede durante el ejercicio o en la insuficiencia respiratoria, se abre la boca para respirar. En la nariz, los componentes nasales óseos y cartilaginosos, los cornetes y el paladar duro, constituyen un soporte firme para mantenerla permeable. Por el contrario, la faringe está sostenida sólo por tejidos blandos y es una vía común para funciones digestivas, respiratorias y de fonación. La vía aérea superior concluye en la laringe, también sostenida por estructuras rígidas de tipo cartilaginoso. La epiglotis cubre las cuerdas vocales y la vía aérea inferior. El control de la respiración permite la apertura o cierre de la glotis durante la respiración y en coordinación con la deglución y otros reflejos.

La vía aérea inferior inicia con la tráquea (generación 0), que da origen a las siguientes

www.neumographic.org.mx

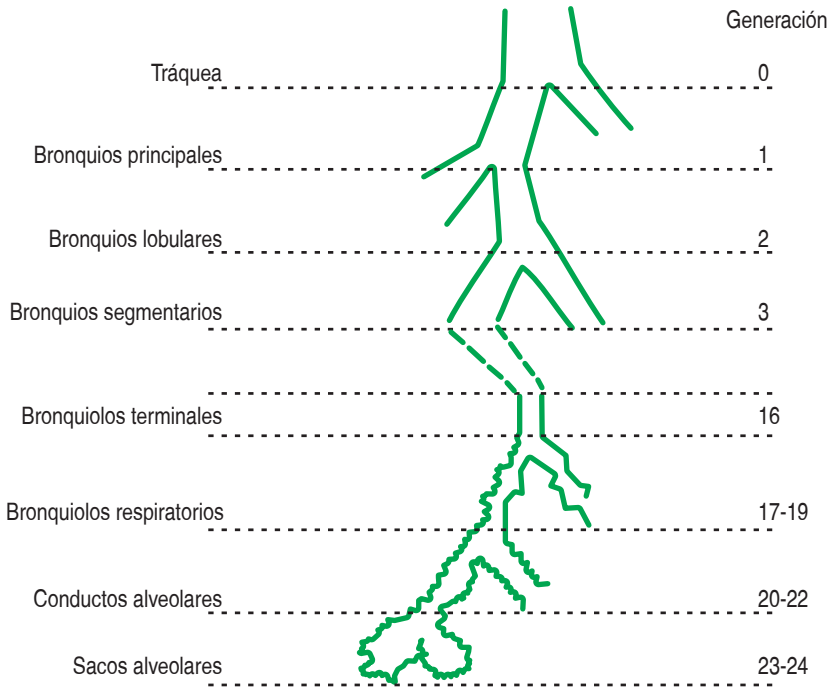


Figura 3.3:

Esquema de dicotomización de la vía área desde la tráquea (generación 0) hasta sacos alveolares (generaciones 23-24).

generaciones de bronquios (Figura 3.3). La tráquea, al igual que el resto de la vía aérea, se divide de manera asimétrica, dando origen a los bronquios principales, que se consideran la primera generación. Los cinco bronquios lobulares, tres derechos y dos izquierdos, son la segunda generación, los 18 bronquios segmentarios son la tercera generación y así sucesivamente. La vía aérea de conducción concluye con el bronquiolo terminal en la generación 16. Las generaciones 17-19 son bronquiolos respiratorios que representan una zona de transición y cuya función es conducir el aire, pero en sus paredes ya se pueden encontrar sacos alveolares. Las generaciones 20-22 son conductos alveolares y las generaciones 23 a 24 son los sacos alveolares.

El diámetro de la vía aérea disminuye progresivamente conforme aumenta el número de generación, pero el número de segmentos se duplica exponencialmente. En la Tabla 3.1 se muestra los cambios en número y superficie de la vía aérea con respecto al número de generaciones.

Pulmones

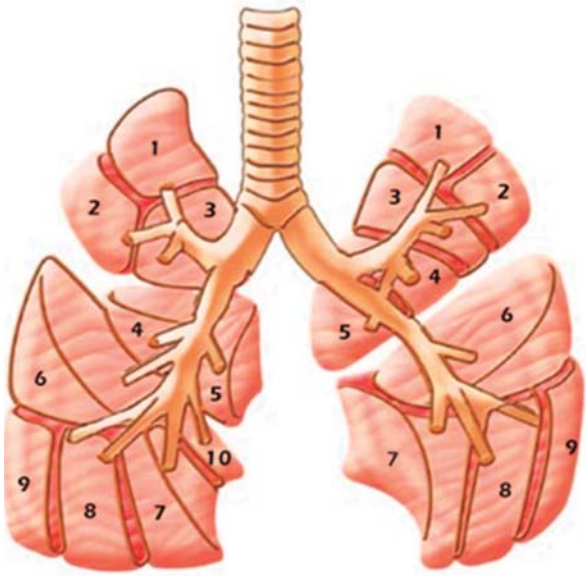
El tamaño pulmonar depende del tamaño corporal, particularmente del tamaño de la caja torácica. En un adulto promedio el tamaño total alcanza de 4 a 6 litros cuando están completamente inflados. La movilidad de la parte inferior y del diafragma puede desplazarse de 4 a 6 cm con inspiraciones y espiraciones profundas. El

www.neographic.org.mx

Tabla 3.1: Cambios en el número y en las dimesiones de la vía con respecto a la generación.

Vía aérea	Generación	Número	Diámetro (cm)	Área total (cm^2)
Tráquea	0	1	1.9	3
Bronquio principal	1	2		
Bronquio lobar	2	5		
Bronquio segmentario	3	20	0.6	6
Bronquio subsegmentario	4	50	0.5	10
Bronquiolo	10-13	20,000	0.07	75
Bronquiolo terminal	16	50,000	0.06	85
Bronquiolo respiratorio	17-19	200,000	0.05	390
Alvéolos	20-23	600,000,000	0.02	7,000

pulmón derecho se puede dividir fácilmente en tres lóbulos (superior, medio e inferior) y el pulmón izquierdo en dos lóbulos (superior e inferior), todos cubiertos independientemente por una capa de pleura visceral (Figura 3.4). Cada pulmón recibe, a través de su hilio, un bronquio principal y una rama de la arteria pulmonar que también funcionan como sostén anatómico. Los lóbulos pulmonares se dividen en segmentos, un total de 10 para el pulmón derecho y ocho para el izquierdo; cada segmento recibe en paralelo un bronquio y una arteria correspondiente. Estas divisiones lobulares y segmentarias permiten resecciones pulmonares quirúrgicas y la función pulmonar se puede estimar pre- y postoperatoriamente de acuerdo al número de segmentos a resecar. Sin embargo, la función pulmonar no es exactamente proporcional al número total de segmentos, ya que es probable que segmentos



www.medigraphic.org.mx

Figura 3.4: Vista esquemática anterior de ambos pulmones. El pulmón derecho se divide en tres lóbulos (superior, medio e inferior) mientras que el izquierdo se divide en lóbulo superior e inferior. Cada lóbulo se divide en segmentos que dan un total de 10 para el pulmón derecho y 8 a 9 para el izquierdo.

resecados participen funcionalmente menos por lesiones locales.

La arteria pulmonar emerge del ventrículo derecho y da origen a las dos arterias principales, una para cada pulmón. Las arterias se dividen de manera paralela a los bronquios hasta llegar a los bronquiolos terminales. Las venas siguen un patrón de división diferente, y se puede encontrar una vena entre dos pares de arterias y venas subyacentes. El grosor de las arterias pulmonares es menor al de las sistémicas en la misma proporción de diferencia de presiones, es decir, de 1:5. Las arterias pulmonares también suplen de nutrientes a los pulmones; este aporte nutritivo se complementa en vía aérea a partir de las arterias bronquiales y con oxígeno tomado directamente del aire inspirado.

Diseño alveolar

El principio funcional del pulmón descansa en un diseño que expone una gran superficie de contacto entre el aire contenido por el epitelio alveolar, con su contraparte sanguínea contenida por el endotelio de los capilares alveolares (Figura 3.5). El sistema de arborización de la vía aérea determina el número de bronquios por generación, así como la superficie de intercambio (Tabla 3.1). Las divisiones finales de la vía aérea concluyen en unos trescientos a seiscientos millones de alvéolos que representan una superficie de contacto de aproximadamente 70 m^2, mientras que la superficie capilar es discretamente menor de 10 a 20%. Además, las células del endotelio son más pequeñas; se requieren cuatro células endoteliales por cada célula alveolar. La membrana alvéolo-capilar está formada por el epitelio alveolar cubierto por completo de capilares y sólo separados entre ellos por el intersticio. El epitelio alveolar está compuesto por dos tipos de células, los neumocitos tipo I y los neumocitos tipo II. Los neumocitos tipo I son células escamosas que cubren la mayor parte de la superficie alveolar

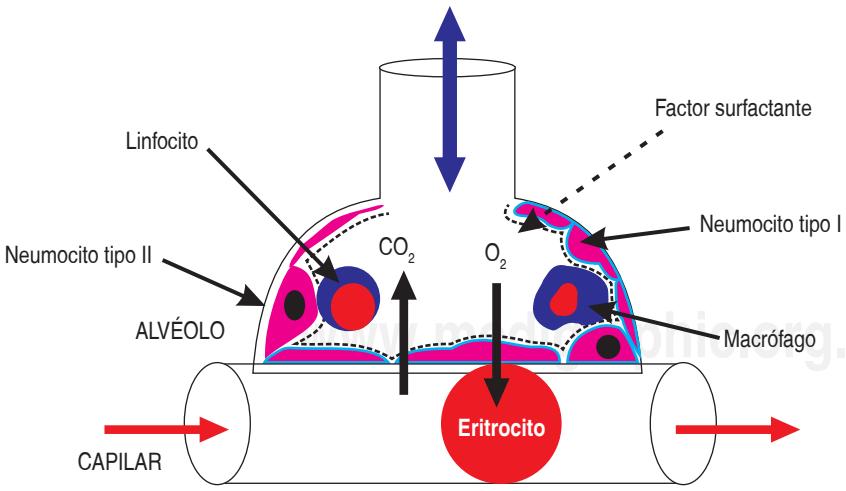


Figura 3.5:

Unidad alvéolo-capilar compuesta por el alvéolo rodeado en un 80% de su superficie por capilares (en el esquema se muestra de manera ilustrativa sólo un capilar). La función final de la unidad es el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono entre el gas alveolar y la sangre capilar. En el alvéolo se encuentran los neumocitos tipo I y tipo II, éstos últimos, productores del factor surfactante. Además, dentro del alvéolo existen células de defensa, como los macrófagos y los linfocitos.

y están estrechamente unidas intercelularmente, confiriendo un epitelio casi impermeable, contrario al endotelio vascular. Los neumocitos tipo II son células alveolares secretoras de factor surfactante que se extiende como una delgada película sobre toda la superficie alveolar y su principal función es disminuir la tensión superficial entre la interface aire-agua de los alvéolos. En el interior de los alvéolos normalmente se pueden encontrar otras células libres que participan en los mecanismos de defensa. Las células que predominan son los macrófagos alveolares, seguidas por linfocitos.

Tórax y músculos respiratorios

El tórax óseo y los músculos respiratorios primarios y secundarios son el sostén y la parte motora del sistema respiratorio (Figuras 3.6 y 3.7). El diafragma, el principal músculo respiratorio, constituye el piso de la caja torácica y separa los pulmones y mediastino de las vísceras abdominales. Este músculo tiene forma de cúpula y está compuesto por haces musculares distribuidos casi verticalmente e insertándose sobre la circunferencia interna de la caja torácica; su parte superior está formada por un tendón central. La configuración del diafragma facilita los movimientos respiratorios; durante la contracción muscular desciende el tendón central y aumentan las dimensiones del tórax en todas direcciones. En condiciones patológicas, como en presencia de enfisema, existe hiperinflación pulmonar con atrapamiento.

Los músculos intercostales internos y externos se distribuyen en haces que van entre los bordes superiores e inferiores de las costillas cubriendo los espacios intercostales (Figuras 3.6 y 3.7). Los músculos intercostales internos se agrupan en intercostales e intercondrales. Estos músculos también son primarios en la respiración, ya que muestran actividad electromiográfica durante la inspiración. Sin embargo,

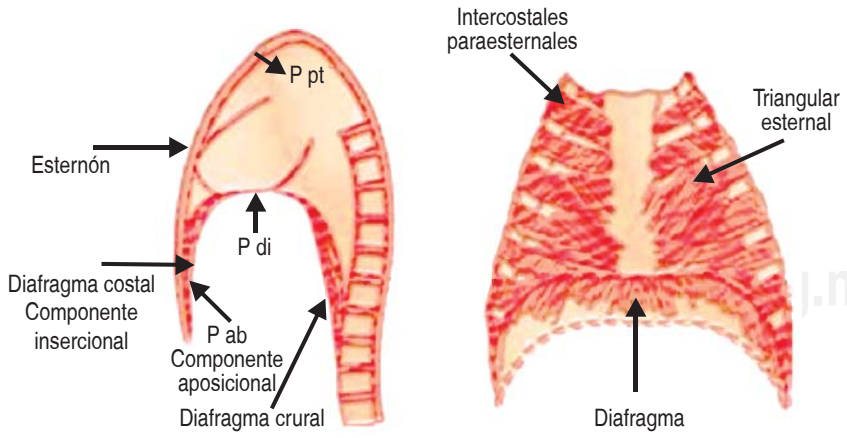


Figura 3.6:

El esquema ilustra la forma de cúpula del diafragma con sus haces musculares crural y costal.

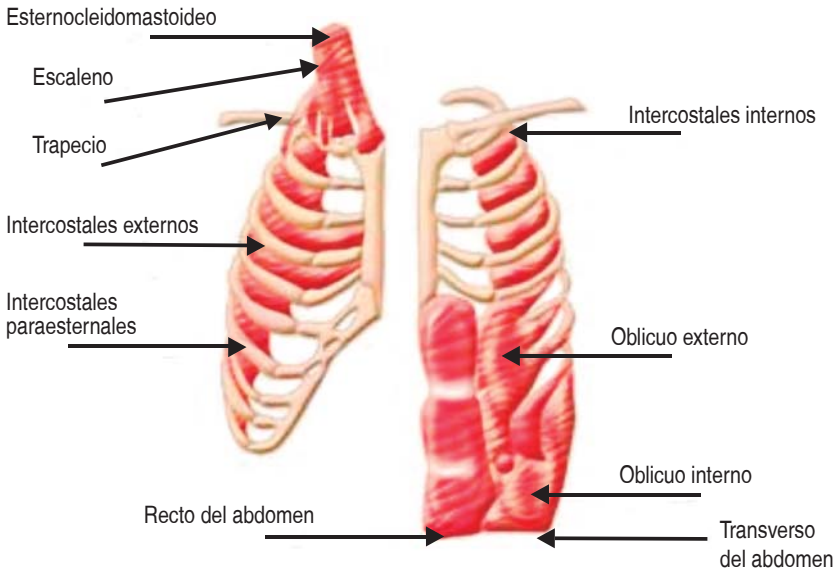


Figura 3.7:

Los músculos del cuello, esternocleidomastoideo, escaleno y trapecio son accesorios de la inspiración, especialmente en enfermedad pulmonar crónica. Los músculos del abdomen (recto, transverso y oblicuos externo e interno) facilitan la espiración y otros procesos fisiológicos donde se involucra la respiración, como el pujar durante la defecación y el parto.

también son músculos con actividad tónica en reposo y activa en movimientos laterales del tronco, acercando los arcos costales en cambios posturales.

Otros músculos que pueden asistir la inspiración o espiración se han denominado músculos accesorios de la respiración o secundarios. Los músculos del cuello, escaleno, esternocleidomastoideo y trapecio pueden facilitar la inspiración en condiciones de ineficiencia diafragmática, como sucede en la debilidad muscular del diafragma por parálisis o aplanamiento, como sucede en el enfisema. Asimismo, los músculos del abdomen, el oblicuo externo, el oblicuo interno, el transverso y el recto del abdomen, pueden auxiliar la espiración en maniobras de espiración forzada, requerida en la espirometría.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

4

Mecánica de la respiración

Ciclo respiratorio

El ciclo respiratorio se divide en la inspiración y espiración. La inspiración inicia con la contracción diafragmática (Figura 4.1). El diafragma desciende uno o dos centímetros durante la respiración normal, pero en inspiraciones o espiraciones profundas puede desplazarse hasta 6-10 centímetros. La cavidad torácica o intrapleural mantiene una presión negativa o subatmosférica de aproximadamente de -2 a -3 cmH_2O. Esto permite equilibrar las fuerzas de retracción elástica del pulmón evitando su colapso. Durante la contracción diafragmática la presión intrapleural desciende en condiciones de reposo hasta -5 o -6 cmH_2O permitiendo una mayor expansión pulmonar. La presión dentro de los alvéolos siempre tiende a equilibrarse con la presión atmosférica, de tal forma que simultáneamente con la caída de la presión intrapleural se genera un flujo de aire desde el exterior hasta los alvéolos. Este volumen de aire generado durante la inspiración es lo que se conoce como volumen corriente. La espiración es un fenómeno pasivo que ocurre al final de la inspiración cuando las propiedades elásticas de los pulmones permiten que retorne a su estado de reposo. Sin embargo, en condiciones de ejercicio o maniobras voluntarias, la espiración puede ser auxiliada de manera activa por los músculos de la pared abdominal.

www.medigraphic.org.mx

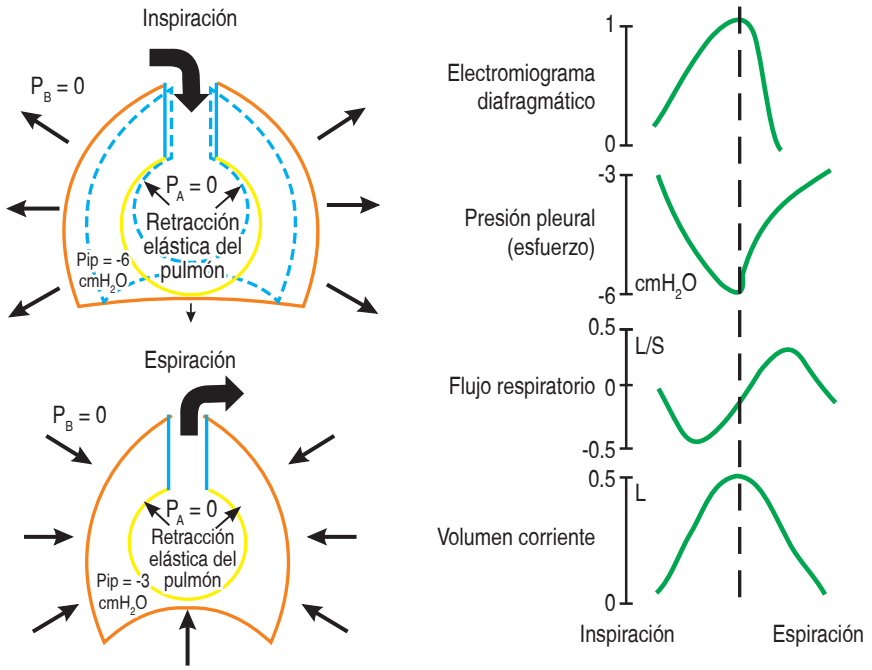


Figura 4.1:

El ciclo respiratorio se divide en inspiración y espiración. La inspiración inicia con la contracción diafragmática, con lo que la presión pleural en reposo (-3 cmH_2O) desciende hasta -6 cmH_2O (imagen superior izquierda). La presión alveolar (PA) tiende siempre a igualarse con la presión barométrica (PB), por lo que durante la inspiración se genera un flujo de aire. En el panel de derecha se ilustran las mediciones gráficas de abajo hacia arriba de electromiograma del diafragma, presión pleural (Ppl), flujo aéreo y volumen corriente.

Para generar un flujo (líquido o gaseoso) a través de un tubo se requiere de una diferencia de presión entre ambos extremos de un conducto. Un flujo es equivalente a la aceleración del volumen y se define como el cambio de volumen por unidad de tiempo; generalmente se expresa como litros por minuto (L/min) o litros por segundo (L/s). Además, la diferencia de presión entre los extremos del tubo también depende del tipo de flujo (Figura 4.2). El flujo laminar es aquél en que la corriente se desplaza en capas concéntricas paralelas a la pared del tubo; el flujo es mayor hacia el eje del tubo y disminuye progresivamente conforme las capas se acercan a las paredes del conducto (Figura 4.2A). En contraste, un flujo turbulento se caracteriza por que las capas de corriente se separan de las paredes del conducto generando remolinos locales (Figura 4.2B).

La resistencia al flujo depende de la viscosidad del fluido, la longitud del tubo y el tipo de flujo (laminar o turbulento); sin embargo, el mayor determinante es el radio del tubo. Si el radio del tubo disminuye a la mitad, la resistencia aumentará 16 veces; en cambio, si la longitud del tubo se duplica, la resistencia será del doble (Ley de Poiseuille); es decir, el flujo está limitado principalmente por el diámetro del conducto, no importa cuánto aumente la presión del fluido, el flujo alcanzará un límite máximo dependiendo del diámetro (Figura 4.3).

Entender y cuantificar la resistencia de la vía aérea es difícil debido a que no se trata de tubos rígidos y uniformes. La resistencia pulmonar está

www.neumologia.org.mx

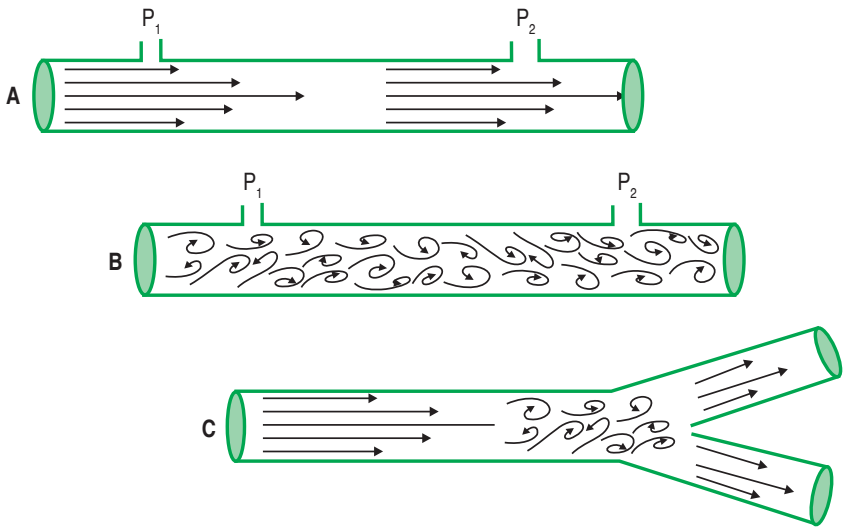


Figura 4.2:

Los flujos (líquidos o gaseosos) se pueden comportar como flujos laminares **(A)** cuando las líneas de corriente son paralelas a la pared del conducto. Cuando un flujo acelera las líneas de corriente, se desordenan formando remolinos locales, dando origen a flujos turbulentos **(B)**; la figura **C** ilustra un flujo de transición cuando el conducto se dicotomiza **(C)**.

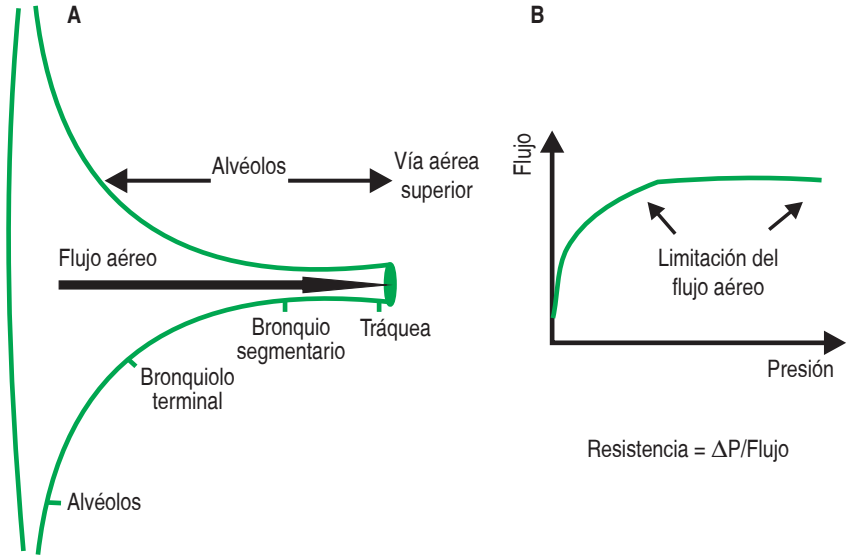


Figura 4.3:

La resistencia depende principalmente del diámetro de los conductos. Sin embargo, la resistencia total del sistema es reciproca al número de conductos: los conductos de la vía aérea aumentan exponencialmente desde la tráquea hasta los alvéolos, por lo que la resistencia aumenta progresivamente hacia la tráquea y la vía aérea superior **(A)**. En **B** se ilustra la curva de resistencia; se grafica la relación entre la presión (eje x) contra el flujo (eje y). El flujo aéreo se limita generándose una meseta. A pesar de que aumenta la presión, el flujo ya no aumenta. La limitación al flujo aéreo está determinada por el diámetro del tubo.

compuesta en su mayoría por la resistencia de la vía aérea y mucho menos por la resistencia del tejido pulmonar (Figura 4.3A). En condiciones normales, entre el 25 al 40% de la resistencia respiratoria total se encuentra en la nariz. Entre más pequeña es la vía aérea, mayor es la resistencia. Sin embargo, la resistencia es recíproca a la suma de los conductos, de tal suerte que la resistencia disminuye con las generaciones bronquiales, ya que éstas aumentan exponen-

www.neurographic.org.mx

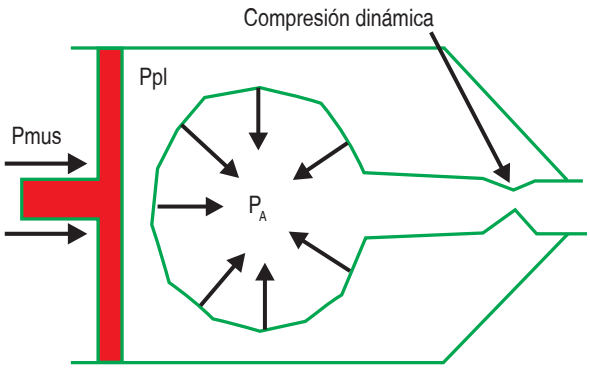


Figura 4.4: Durante la espiración forzada, puede existir compresión dinámica de la vía aérea. La presión muscular (Pmus) generada por la contracción muscular aumenta la presión pleural (Ppl) facilitando el colapso del conducto.

cialmente (Figura 4.3A). La resistencia de la vía aérea se ve afectada cuando el calibre cambia por contracción o relajación del músculo liso, debido a regulación nerviosa simpática o parasimpática. Asimismo, en presencia de enfermedad, como en la EPOC, el calibre de la vía aérea disminuye progresivamente por inflamación crónica e irreversible, principalmente secundaria a la inhalación de humo de tabaco, humos, polvos y contaminantes. Además, durante la espiración, especialmente si es forzada, puede existir compresión dinámica de la vía aérea, lo que puede aumentar más la resistencia del sistema (Figura 4.4).

La resistencia de la vía aérea no puede medirse directamente, pero puede calcularse a partir de su relación con la diferencia de presión (ΔP) y el flujo ($R = \Delta P/V'$), lo que es una aproximación, ya que asume que el flujo es laminar. La diferencia de presión puede medirse por cambios en la presión pleural (medida como presión esofágica) y el flujo se puede medir por medio de un neumotacógrafo conectado a una boquilla o una máscara oro-nasal. La espirometría es una forma mucho más sencilla, pero en realidad cuantifica los flujos aéreos, los cuales están determinados principalmente por el calibre de los conductos.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

5

Generalidades de espirometría

Cuando los pulmones son pequeños, ya sea por una enfermedad pulmonar o bien por nacimiento, se puede meter y sacar poco aire de los mismos. Unos pulmones grandes pueden recibir más aire que unos pequeños, lo que se detecta por la espirometría. Al volumen de aire (en litros) que se puede sacar de los pulmones totalmente inflados se le llama capacidad vital forzada (CVF o más conocida por sus siglas en inglés FVC, (Figura 5.1). Se le llama forzada porque se pide que el paciente sople con máximo esfuerzo (forzando la espiración o salida de aire). La FVC representa el máximo volumen de aire que puede ventilarse (movilizarse) dentro y fuera de los pulmones (Tabla 5.1). La enfermedad pulmonar puede hacer que disminuya la FVC. Por ejemplo, la tuberculosis extensa lesiona el pulmón y lo cicatriza, haciéndolo más pequeño y difícil de inflar, por lo que la espirometría muestra una capacidad vital disminuida.

Cuando los bronquios están obstruidos, el aire dentro de los pulmones sale más lento. Es como en el caso de un tubo, por el que pasa menos agua si está cerrado o estrecho que si está abierto. Varias enfermedades se caracterizan por obstruir los bronquios, como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC); por lo tanto, se pueden detectar con la espirometría. Esto se define como limitación al flujo aéreo. El parámetro más importante del flujo de aire es el volumen

www.medigraphic.org.mx

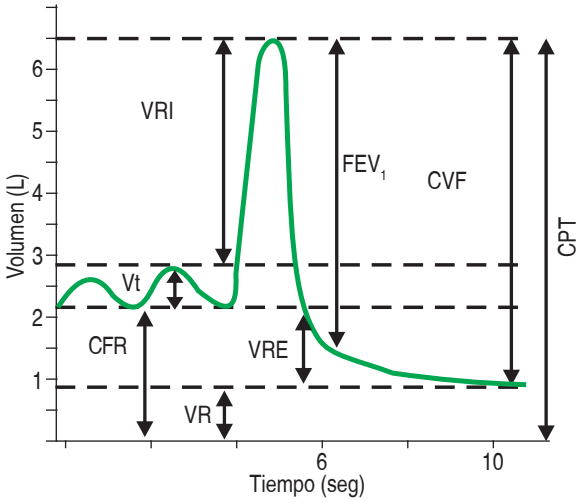


Figura 5.1: Espirograma normal cronometrado. El volumen corriente (*tidal volume* o Vt) se genera durante ciclos respiratorios normales en reposo. Si el individuo inspira el máximo volumen de aire posible o volumen de reserva inspiratoria (*inspiratory reserve volume* o VRI), alcanza entonces su capacidad pulmonar total (TLC o CPT). Posterior a ello, realiza una espiración forzada hasta que exhala el máximo volumen de aire posible o capacidad vital forzada (FVC o CVF). El volumen de aire que queda dentro de los pulmones después de exhalar la FVC se denomina volumen residual (RV). El RV sumado al volumen de reserva espiratoria (ERV o VRE) representa la capacidad funcional residual (FRC o CFR), que es el volumen de aire que normalmente existe dentro del tórax en estado de reposo y que representa un almacén de aire para el intercambio gaseoso.

espiratorio forzado en un segundo, abreviado en inglés FEV_1. Ésta es la cantidad de aire que puede sacar un individuo un segundo después de iniciar la exhalación teniendo los pulmones completamente inflados y haciendo su máximo esfuerzo. Normalmente, en el primer segundo se saca la mayor parte del aire de los pulmones o de la capacidad vital. Los niños, adolescentes y adultos jóvenes pueden sacar en el primer segundo más del 80% de la capacidad vital; es decir, el FEV_1 en litros es de aproximadamente

Tabla 5.1: Principales variables y sus definiciones medidas por la espirometría.

FVC *(forced vital capacity):* capacidad vital forzada (CVF), es el máximo volumen de aire exhalado después de una inspiración máxima, expresado en litros

FEV_1 *(forced expiratory volume in one second):* Volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF_1), volumen de aire exhalado durante el primer segundo de la FVC, expresado en litros

FEV_6 *(forced expiratory volume in six seconds)*: Volumen espiratorio forzado en el segundo 6 (VEF_6), volumen de aire exhalado al segundo 6 de la FVC. Se usa como equivalente de la FVC en la espirometría de consultorio

FEV_1/FVC: Cociente o relación FEV_1/FVC es la relación de FEV_1 dividido entre la FVC y expresada como porcentaje. Esta relación es la variable más comúnmente utilizada para definir obstrucción al flujo aéreo

FEV_1/FEV_6: Cociente o relación FEV_1/FEV_6 es la relación de FEV_1 dividido entre el FEV_6, expresado como porcentaje. Esta relación es similar al FEV_1/FEV_6 para definir obstrucción al flujo aéreo

PEF *(peak expiratory flow)*: Flujo espiratorio máximo o pico (FEM o FEP), flujo máximo de aire alcanzado con un máximo esfuerzo, partiendo de una posición de inspiración máxima, expresado en L/s

el 80% de la capacidad vital. Esta medida que se hace en la espirometría es el cociente entre el FEV_1 y la capacidad vital forzada (FVC), índice llamado FEV_1/FVC (Tabla 5.1). Como se describe previamente, el FEV_1 es el 80% de la capacidad vital en personas jóvenes, esto quiere decir que el FEV_1/FVC es de 80%. En una persona con los pulmones pequeños, pero con bronquios normales, la cantidad de aire que entra y sale de los pulmones (capacidad

www.medigraphic.org.mx

Tabla 5.2: Fuentes de variación en espirometría.

Variable	FEV_1	FVC	FEV_6	FEV_1/FVC	FEV_1/FEV_6
Edad	27	17	21	11	9
Estatura	44	55	53	1	0.7
Sexo	31	39	37	2	1
Índice de masa corporal	1	2	2	2	2
Peso	9	9	9	0.3	0.8
Ciudad	3	2	1	5	4
Técnico	2	3	3	7	6
Tabaquismo	0	0	0	2	1.6
Tabaquismo, síntomas y enfermedades*	4	2	3	9	9.0
Total	67	70	71	25	24
Inexplicado	33	30	29	75	76

* Incluye asma, EPOC, enfisema, bronquitis crónica, tos y flema.
Los valores son calculados en porcentaje y corresponden al estudio PLATINO, un estudio de base población de más de 5 mil individuos de cinco ciudades de América Latina (Sao Paulo, Ciudad de México, Montevideo, Santiago y Caracas). La variación es en porcentaje y no se incluye la contribución de los equipos.

vital) va a estar disminuida, pero podrá sacar en el primer segundo la misma proporción de aire (por ejemplo; el 80%), es decir el FEV_1/FVC seguirá siendo el normal. A diferencia, cuando los bronquios están obstruidos, se sacará menos del 80% del aire en el primer segundo, por lo que la relación FEV_1/FVC estará disminuida.

Los valores de espirometría (FEV_1, FVC y FEV_1/FVC) dependen de varios factores. Los principales determinantes de la función pulmonar espirométrica son la estatura, el sexo y la edad de las personas (Tabla 5.2). Una persona de estatura grande tiene pulmones más grandes que una persona pequeña. Las mujeres tienen pulmones más pequeños que los hombres, aunque tengan la misma talla y edad. El tercer factor importante es la edad, ya que conforme la persona envejece, hay un deterioro de la función pulmonar y sobre todo de resistencia de los bronquios al paso del aire, disminuyendo progresivamente el FEV_1, la FVC y la relación FEV_1/FVC. Para decidir si una espirometría es normal o anormal se comparan los valores medidos con los promedios de personas de la misma edad, sexo y estatura; además, que sean sanas y no fumadoras (valores predichos, normales o de referencia).

www.medigraphic.org.mx

La espirometría es una prueba sencilla, poco molesta y que debería usarse frecuentemente. Es muy reproducible y permite valorar y seguir las alteraciones de los pacientes con

varias enfermedades pulmonares. Una desventaja de la espirometría es que requiere de la cooperación de los pacientes y de un esfuerzo máximo. Si el paciente no hace un esfuerzo máximo, las alteraciones se confunden con las de una enfermedad pulmonar. Los técnicos que la realizan tienen la obligación de explicar bien el procedimiento y demostrarlo primero. La otra desventaja es que la maniobra espirométrica es una maniobra de aprendizaje y que no se hace en condiciones habituales, lo más parecido a ellas es apagar las velas de un pastel de un solo soplido. La mayor dificultad de la maniobra está en hacer el máximo esfuerzo y sostenerlo hasta sacar toda la capacidad vital. Esto implica mantener un esfuerzo de exhalación por lo menos un segundo después de que se ha terminado de sacar el aire. Sin embargo, la maniobra de FVC mejora con la práctica de las personas y de los pacientes, esto incluye a los niños desde los cuatro años de edad.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

6

Estandarización de la espirometría

Los volúmenes y flujos obtenidos por medio de la espirometría son parámetros extraordinariamente cuantitativos y, por lo tanto, también objetivos para la valoración y el seguimiento de la función mecánica respiratoria. Sin embargo, la exactitud de su medición depende de la estandarización de la espirometría. Estandarizar significa establecer los mismos procedimientos para su realización e interpretación; no importa quién, dónde o con qué equipo (marca o modelo) se haga la prueba, ésta debe realizarse de la misma forma. Para estandarizar una prueba se debe reunir la suficiente evidencia científica y crear un consenso general de expertos, idealmente auspiciado por sociedades científicas internacionales. La primera reunión de expertos para estandarización de la espirometría fue auspiciada por la Sociedad Americana del Tórax (ATS) en 1979 y resultó en los primeros estándares de espirometría de la ATS. Estos estándares fueron actualizados en 1987 y en 1994. De igual manera, hubo una iniciativa similar de la Sociedad Europea para el Acero y el Carbón en 1983; en 1993, fue actualizada como los estándares de espirometría de la Sociedad Europea Respiratoria (ERS), con pocas diferencias reales con respecto a los estándares ATS. En el año 2005, como un esfuerzo más internacional aparecen los estándares de espirometría de la ATS/ERS.

El proceso de estandarización de espirometría según la ATS/ERS se describe en la

www.medigraphic.org.mx

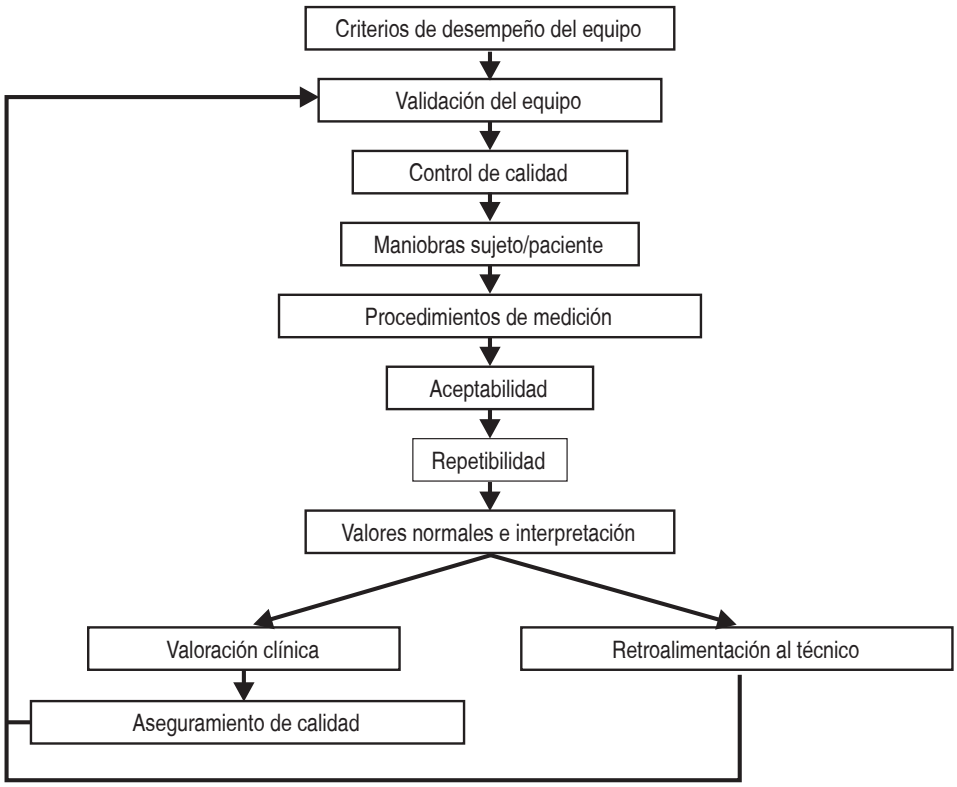


Figura 6.1: Diagrama por pasos para estandarización de la espirometría establecido por la Sociedad Americana del Tórax y la Sociedad Europea Respiratoria (ATS/ERS 2005).

Figura 6.1, incluye los criterios de desempeño y la validación del equipo (responsabilidad del fabricante), el control de calidad del equipo, la realización de la maniobra, los criterios de aceptabilidad y repetibilidad, la adecuada selección de los valores de referencia e interpretación de los resultados; en caso necesario, debe incluirse la interpretación clínica y proceso de aseguramiento de calidad que involucra la retroalimentación al técnico que realizó la prueba. Todos los procesos involucrados en la estandarización de la espirometría aseguran la precisión y exactitud de la prueba, ya que en cada paso hay fuentes potenciales de ruido o error. Si las fuentes de error son grandes, las mediciones son poco confiables (Figura 6.2).

Entrenamiento estandarizado

Para asegurar el proceso de estandarización de la espirometría es recomendable que el entrenamiento técnico de las personas que la realizan o la supervisan sea también estandarizado. Los niveles de entrenamiento recomendado se ilus-

www.neumographic.org.mx

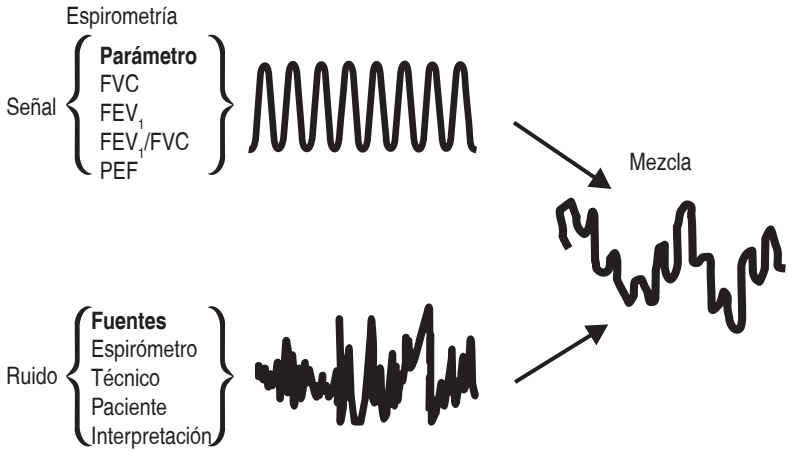


Figura 6.2:

Representación esquemática del efecto de las fuentes de ruido (error) sobre las mediciones de la espirometría. Las fuentes de ruido pueden tener origen en el equipo de medición (espirómetro), en la persona a quien se le realiza la prueba, en el técnico que supervisa e incluso en el proceso de interpretación. Los procesos de estandarización buscan disminuir al máximo las fuentes de ruido para que afecten lo menos posible a las mediciones.

Figura 6.3: Niveles de entrenamiento técnico recomendados y de certificación de centros de espirometría. Se recomienda un nivel básico para los técnicos sin experiencia previa en la prueba. El curso de certificación internacional (INER, NIOSH o ALAT) corresponde al Nivel 2 y requiere experiencia previa en espirometría o haber cursado Nivel 1. El Nivel 3 corresponde a la certificación de un centro de espirometría que requiere como mínimo seis meses de experiencia y completar una auditoría por expertos que incluya control de calidad estandarizado y evaluación de las interpretaciones espirométricas.

tran en la Figura 6.3. Si el personal técnico no cuenta con experiencia previa en espirometría, se recomienda un nivel básico de entrenamiento teórico práctico (Nivel 1) que introduzca al personal en las bases teóricas de la espirometría, el uso del espirómetro y la realización de la prueba. Posterior a este entrenamiento, es recomendable la realización de espirometría por algún tiempo, por ejemplo, cuatro semanas antes de pasar al Nivel 2 o de certificación.

El Nivel 2 de entrenamiento corresponde al Curso Oficial de Certificación de Espirometría avalado por el Instituto de Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH)

www.meniographic.org.mx

y/o de la Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT), que se imparten en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) o las sedes que establezca la Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT) o la Sociedad Mexicana de Neumología y Cirugía de Tórax. Este curso tiene una duración mínima de 16 horas de entrenamiento y se recomienda que estén distribuidas en dos días (Figura 6.3). El curso requiere aprobación de las evaluaciones teórica y práctica y dicha certificación tiene una validez de cinco años.

El Nivel 3 corresponde a la certificación avanzada de los técnicos, así como del Centro de Espirometría. El centro debe demostrar contar con técnicos entrenados y certificados (Nivel 2), así como completar y aprobar auditorías periódicas del control de calidad de los equipos, la calidad técnica de las espirometrías (por cada técnico) y la calidad de la interpretación de las pruebas.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

7

Espirómetros

El espirómetro es un dispositivo diseñado para medir el volumen o el flujo de aire respiratorio. Se han diseñado muchos tipos de espirómetros, pero todos están compuestos por un conducto con una boquilla, a través de la cual el individuo sopla, un mecanismo de medición del flujo o volumen de aire, un cronómetro y un sistema para graficar los cambios de flujo o volumen. Los espirómetros modernos cuentan con una computadora o microprocesador que les confiere muchas ventajas. Las principales características de los espirómetros manuales (antiguos) y los espirómetros automatizados (controlados por computadora) se enlistan en el Tabla 7.1.

Características ideales de los espirómetros

Los espirómetros deben tener un rango de medición de por lo menos 0.50 a 8.00 L en volumen y de 0 a 12 L/s en flujo. Todo espirómetro debe demostrar que es exacto, preciso, lineal, de baja resistencia y con buena respuesta de frecuencia. La exactitud se verifica con un estándar de oro, por lo menos una jeringa calibrada a un volumen de 3.00 L y el error de medición deben ser no mayor a 3% (0.90 L). La precisión se obtiene midiendo varias veces el mismo volumen, por ejemplo, con la jeringa de 3.00 L y las mediciones deben diferir muy poco (menos de 3%). El sensor debe ser exacto y lineal para flujos espiratorios e inspiratorios

www.medigraphic.org.mx

Tabla 7.1: Diferencias entre espirómetros manuales y computarizados.

Característica	Espirómetros manuales (antiguos)	Espirómetros automáticos controlados por computadora
Mediciones	Manualmente con trazos y operaciones con calculadora	Los hace la computadora de manera más reproducible y con menos errores
Valores normales	Se buscan en tablas de acuerdo con estatura, sexo y edad	Los calcula el ordenador del espirómetro con base en la estatura, sexo y edad. Si alguno de ellos está equivocado, los resultados son falsos
Impresión de resultados	Se hace a mano o a máquina	Se hace automáticamente por una impresora
Almacenamiento de resultados	En archivos tradicionales de papel	En archivos de computadora y/o en archivos tradicionales
Portabilidad	Escasa, voluminosos y requieren energía eléctrica	Pueden operar con baterías, ser portátiles y almacenar en memoria muchas pruebas
Calibración	Indispensable	Indispensable. El programa puede incluir una fácil rutina de calibración
Interpretación y avisos	Realizando trazos y cálculos	Puede hacerse interpretación automática de acuerdo con algoritmos preestablecidos. No toman en cuenta la valoración clínica con la probabilidad preprueba
Control de calidad	Todo en forma manual	El programa puede incluir un control de calidad de los esfuerzos con avisos al técnico y al individuo de que está fallando. Pueden enviarse los resultados a un laboratorio central de control de calidad por internet. También pueden almacenarse fácilmente
Ventajas	Sencillos, más fáciles de reparar y muy útiles para entrenamiento	Menor variabilidad, uso más rápido, pueden incorporar ayuda al control de calidad, automatiza y facilita muchas funciones, ahorra tiempo y evita errores
Desventajas	Más variabilidad	Más caros, más complejos, pueden requerir mantenimiento y reparaciones con costos adicionales; también puede haber errores dependientes de los programas

ya que pueden ser asimétricos, así como debe ser de baja resistencia al flujo de aire y debe tener buena respuesta en frecuencia, es decir, que responde a cambios lentos y rápidos en el flujo con poca inercia. En caso necesario y de forma ideal, deben medir directamente la temperatura y la humedad relativa para ajustar correctamente a condiciones de temperatura corporal y presión estándar (condiciones BTPS, por sus siglas en inglés). Además, deben in-

www.neumologia.org.mx

cluir el mayor número posible de ecuaciones de referencia externas, particularmente las recomendadas para la población en la que se usa; también deben permitir instalar fácilmente ecuaciones de referencia local en el programa del espirómetro. Es deseable que los equipos no se contaminen o sean fáciles de limpiar, y que sean económicamente accesibles para su adquisición, mantenimiento y en sus consumibles.

Los espirómetros se han ido perfeccionando considerablemente en los últimos años. Se han simplificado y resultan mucho más confiables que los anteriores. En general, reúnen y con frecuencia superan las recomendaciones mínimas de la (ATS/ERS 2005) que se resumen en el Tabla 7.2. Sin embargo, el costo de los equipos sigue siendo una limitante en muchos lugares. De manera reciente, existen equipos disponibles en el mercado con precios muy bajos (desde $50 dólares americanos) para adquisición individual, por ejemplo, personas con asma, de manera similar a los flujómetros portátiles. Con estos equipos se puede medir solamente las principales variables, sin gráficas ni valores de referencia.

Los espirómetros pueden medir directamente volumen o el flujo. Cabe aclarar que las mediciones indispensables de un espirómetro son flujo o volumen y el tiempo.

Tabla 7.2: Recomendaciones mínimas para los espirómetros (ATS/ERS, 2005).

Prueba	Límite/precisión (BTPS)	Límite de flujo (L/s)	Tiempo (s)	Resistencia y presión de fondo	Signo de la prueba
VC	0.5 a 8 L ± 3% de la lectura o ± 0.050 L, el que sea mayor	0-12	30		3-L jeringa de calibración
FVC	0.5 a 8 L ± 3% de la lectura o ± 0.050 L, el que sea mayor	0-12	15		24 ondas estándares
FEV_1	0.5 a 8 L ± 3% de la lectura o ± 0.050 L, el que sea mayor	0-12		Menor a 1.5 cmH_2O y 0.12 L/s	24 ondas estándares
Tiempo cero	El tiempo del punto del que se toman todas las mediciones de FEV_1			Determinado por la extrapolación retrógrada	
$FEF_{25-75\%}$	7.0 L ± 5% de la lectura o ± 0.200 L/s, el que sea mayor	0-12	15	Igual que FEV_1	24 ondas estándares
V	± 14 L/s ± 5% de la lectura o ± 0.200 L/s, el que sea mayor	0-12	15	Igual que FEV_1	Prueba del constructor
MVV		0-12 ± 5%	12 a 15 ± 3%	Presión menor a ± 10 cmH_2O a 2-L TV a 2.0 Hz	Bomba sinusoidal de cero a 4 Hz ± 10% a ± 12 L/s

Tabla 7.3: Diferencias entre espirómetros de flujo y de volumen.

Característica	Tipo de espirómetro	
	Sensor de flujo	Sensor de volumen
Tecnología involucrada	Varios: neumotacógrafo, ultrasónico, turbinas y de alambre caliente	Campanas con sello de agua, cilindros sellados en seco, cuñas, fuelles. En todos se acumula el volumen
Medición primaria	Flujo y el volumen se calcula por integración (área bajo la curva, flujo-tiempo)	Volumen, el flujo se calcula por derivada (pendiente de la curva volumen tiempo)
Tamaño y peso (portabilidad)	Pequeños y portátiles. Pueden operar con baterías	Equipo fijos y grandes, habitualmente mayores a 10 litros
Costo	Menor	Mayor
Problemas	Errores de flujo cero o línea de base cuando el flujo cero no coincide con un voltaje cero en los amplificadores; errores positivos cuando a flujo cero dan un voltaje que marca flujo positivo (espiratorio); errores negativos cuando a flujo cero da un flujo inspiratorio	Requieren medir la temperatura, humedad y presión barométrica para ajustar adecuadamente a BTPS. Se contaminan potencialmente al recibir el aire espirado
	Incremento en resistencia con suciedad y condensación en neumotacógrafos (sobreestimación)	Pueden ser difíciles de limpiar en su interior
	Alinealidad, por no tener flujo laminar en el rango alto	Sujetos a posibles fugas
Precisión y exactitud	Buena, han mejorado mucho los más recientes. Más variables con respecto a derivada de cero con cambios en la temperatura. Los valores menos importantes son flujos	Mayor. Los valores más importantes son volúmenes, por ejemplo, de 34 probados por Nelson el 71% se desempeñaron bien (100% de los de fuelle, 86% de agua)
Ventajas	Puede ajuste a BTPS automáticamente cuando el sensor está a la temperatura corporal	Los errores de volumen no se acumulan con el tiempo, verificaciones sencillas
Uso ideal	Donde se requiere movilidad, consultorios	Laboratorios de referencia

www.medigraphic.org.mx

Teniendo flujo y tiempo se puede integrar el volumen. Asimismo, teniendo volumen y tiempo se puede derivar el flujo. En la Tabla 7.3 se detallan las diferencias entre los espirómetros con sensor de flujo o de volumen. Algunos espirómetros incluyen algoritmos de supervisión automatizada que guían al técnico sobre indicaciones que debe dar a los

individuos en orden de mejorar la maniobra de FVC.

Ejemplos de sensores de flujo:

1. Neumotacógrafos

Son de disponibilidad muy frecuente. Se mide la caída de presión a través de una resistencia conocida y con flujo laminar (Figura 7.1). La resistencia puede ser una malla fina, o bien, tubos capilares y la caída de presión depende de densidad y viscosidad y del tipo de gas (calibración específica para el tipo de gas que se utiliza). La malla o los capilares pueden obstruirse por condensación de agua o suciedad, lo que cambia la resistencia y su calibración. También los puede hacer no-lineales al generarse turbulencias en flujos altos. Sus principales problemas son errores con la línea de base y su derivada.

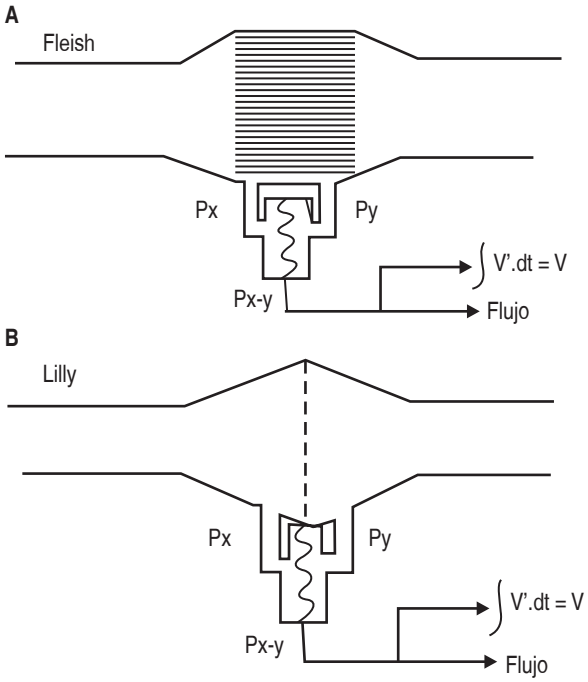


Figura 7.1: Tipos de neumotacógrafos para medir flujos de aire. Neumotacógrafo tipo Fleish **(A)** donde la resistencia consiste en tubos capilares. Neumotacógrafo tipo Lilly **(B)** con resistencia por malla de alambre. En ambos casos el flujo es proporcional a la corriente eléctrica generada al paso del aire por la resistencia y el volumen se obtiene por integración del flujo.

2. Sensores de turbina o aspas giratorias

En estos sensores el flujo es proporcional a las revoluciones de la turbina y aspas/tiempo. Suelen ser baratos y simples, pero presentan problemas en flujos bajos por inercia de la turbina. Además, la turbina debe cambiarse periódicamente ya que el envejecimiento deteriora el funcionamiento.

3. Sensores de convección térmica

Son sensores llamados de hilo caliente, el cual se enfría con el flujo y cambia su resistencia o la corriente para mantener tiempo constante. En la actualidad, no hay equipos disponibles con este tipo de sensor.

4. Sensores ultrasónicos

Son los espirómetros de más reciente incorporación en el mercado. El sensor compara tiempos de tránsito de la señal de ultrasonido corriente arriba y abajo (Figura 7.2). A mayor diferencia del tiempo en tránsito más flujo. La

www.neumologia.org.mx

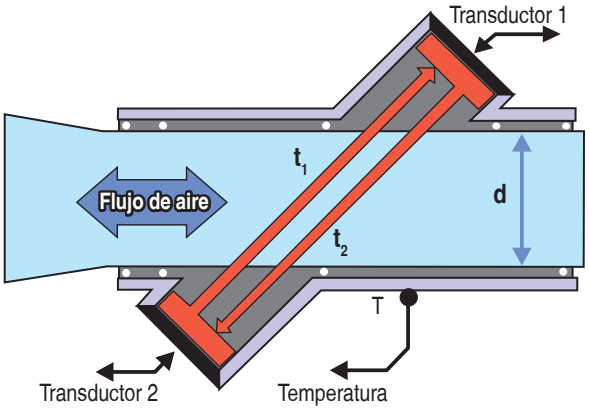


Figura 7.2: Sensor de flujo de tecnología ultrasónica, compara tiempos de tránsito de la señal de ultrasonido corriente arriba y abajo. A mayor diferencia del tiempo en tránsito, más flujo (no influye temperatura, humedad o composición del aire).

ventaja de este sensor es que no influye temperatura, humedad presión o composición. Estos equipos han demostrado estabilidad de largo plazo, no tienen partes móviles y, por lo tanto, no requieren de mantenimiento. Comercialmente, se han propuesto como libres de calibración. Además, por el diseño de sus boquillas, son de baja resistencia al flujo y no se contamina el equipo, lo que facilita una prueba rápida e higiénica.

Características ideales del reporte de espirometría

Los espirómetros modernos pueden presentar o imprimir informes o reportes de rutina con alguna variabilidad; además, se pueden programar reportes personalizados. De cualquier forma, es conveniente que el reporte incluya los siguientes componentes:

1. Identificación y datos demográficos
2. Datos ambientales: temperatura, humedad relativa y presión barométrica
3. Valores de referencia
4. Tres maniobras:
   a. Valores (FEV_1, FVC, FEV_1/FVC, PEF)
   b. Gráficas de flujo-volumen y de volumen-tiempo
5. Otros parámetros recomendados:
   a. Fecha de última calibración
   b. Nombre o identificación del técnico
   c. Repetibilidad (variabilidad FVC y FEV_1)
   d. Graduación de calidad
   e. Interpretación automatizada

Es altamente recomendable que se incluyan los valores y gráficas de tres maniobras aceptables o las tres mejores de maniobras de FVC. Para el resultado final, deben seleccionarse los valores más altos de FVC y FEV_1 aunque éstos no provengan de las mismas curvas. A su vez estos valores deben ser utilizados para calcular el cociente FEV_1/FVC. Todos los valores de función pulmonar se informan en litros con dos decimales. El cociente FEV_1/FVC se reporta como por ciento con un decimal.

En caso de espirometría con prueba de respuesta al broncodilatador, es recomendable que se muestren los valores y gráficas de las maniobras basales y las maniobras posteriores al medicamento. En la Figura 7.3 se muestra un reporte de espirometría, modificado para fines prácticos.

www.neumologia.org.mx

MUESTRA DE REPORTE DE ESPIROMETRÍA
(Formato modificado)

A
Nombre:
Registro: 1234
Edad: 31años
Estatura: Height 5 ft 11 in
Peso: 172 lbs, IMC: 24.1
Sexo: Masculino
Raza: Hispano
Fumador: NO
Asma: NO

B
Fecha: 06/06/2000
Hora: 02:38pm
Prueba post: 02:44pm
Modo de prueba: DIAGNÓSTICA
Valores predichos: NHANES III
Valor seleccionado: MEJOR PRUEBA
Técnico:
Conversión BTPS: 1.10/ 1.04

C

	Prueba basal					Prueba postbroncodilatador				
PARÁMETRO	**1**	**2**	**3**	**Pred**	**%Pred**	**1**	**2**	**3**	**%Pred**	**Cambio**
FEV_1 (L)	**4.44**	4.41	4.34	**4.55**	**98**	**4.63**	4.55	4.56	**102**	4%
FVC (L)	**5.83**	5.85	5.80	**5.61**	**104**	**5.75**	5.69	5.66	**103**	-1%
FEV_1/FVC	**0.76**	0.75	0.75	**0.82**	**0.93**	**0.80**	0.80	0.81	**99**	
FEF25-75 (L/s)	**3.60**	3.46	3.35	**4.50**	**80**	**4.26**	4.19	4.19	**95**	
PEF (L/s)	**12.11**	12.50	12.74	**10.45**	**116**	**13.74**	13.26	13.87	**131**	**13%**
FET (s)	**6.94**	7.85	8.19	**-,-**	**6.65**	5.58	5.55	-,-		
FIVC (L)	**5.59**	5.61	5.78	**5.61**	**100**	**5.81**	5.78	5.77	**104**	
PIF (L/s)	**7.63**	7.24	7.21	**-,-**	**7.28**	10.01	8.02	-,-		

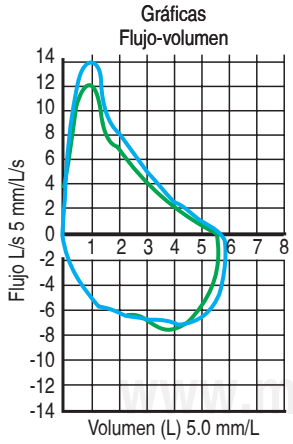
* Indica valor abajo del límite inferior normal o cambio significativo postbrocodilatador.

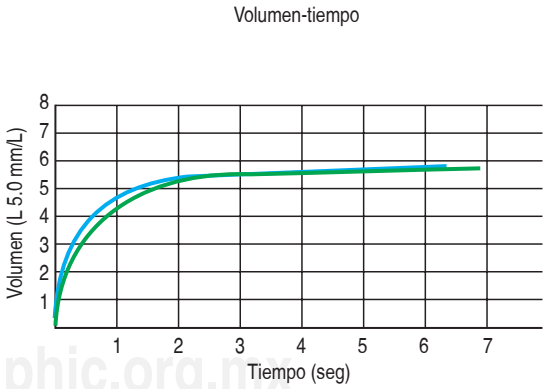
D

Variabilidad		**Grado de Calidad**
FEV_1 basal = 0.03L 0.7%;	FVC basal = 0.02L 0.4%;	A
FEV_1 Post = 0.07L 1.5%;	FVC post = 0.06L 1.1%;	A

E
Resultados: El mejor FEV_1 es 98% del predicho
Interpretación automatizada: ESPIROMETRÍA NORMAL

F





www.medigraphic.org.mx

Figura 7.3: Ejemplo de reporte espirométrico que cuenta con datos del sujeto **(A)**; parámetros técnicos **(B)**, resultados de las tres mejores maniobras pre- y postbroncodilatador **(C)**; variabilidad del FEV_1 y FVC y grado de calidad de la espirometría **(D)**; gráficas flujo-volumen y volumen-tiempo **(E)**; y, algoritmo de interpretación automatizada **(F)**.

www.medigraphic.org.mx

8

Indicaciones de la espirometría

Las indicaciones de la espirometría son múltiples, pero en general está indicada tanto para la valoración de salud respiratoria, como en la sospecha de enfermedad en la presencia de síntomas, signos o factores de riesgo de enfermedad. En este contexto, el tabaquismo crónico representa, por mucho, la indicación más frecuente de la espirometría en el contexto de medicina general. Asimismo, otras indicaciones son la monitorización y la vigilancia de la enfermedad, la valoración de la deficiencia y la discapacidad respiratoria y para el pronóstico y riesgo preoperatorio.

1. Indicación general

La valoración objetiva de la salud respiratoria, a través de la función mecánica respiratoria se considera siempre como una indicación general de la prueba.

2. Diagnóstica

Valoración médica de personas en las que sospeche enfermedad pulmonar:

a) Síntomas: sibilancias, estridor, disnea, ortopnea, tos, flema o dolor torácico.
b) Signos: ruidos respiratorios disminuidos, hiperinflación, lentitud espiratoria, deformidad torácica, presencia de estertores.
c) Estudios de gabinete anormales: hipoxemia, hipercapnia, policitemia, radiografía de tórax anormal.

www.medigraphic.org.mx

d) Pacientes sin enfermedad pulmonar conocida, pero con disnea o intolerancia al ejercicio no explicada.
e) Sospecha de enfermedad pulmonar obstructiva, como asma o EPOC.
f) Proceso de diagnóstico y evaluación del daño pulmonar de una enfermedad pulmonar intersticial, enfermedad pulmonar sistémica con evidencia o sospecha de afectación pulmonar y en pacientes con enfermedad neuromuscular o debilidad muscular.

3. Escrutinio de individuos en riesgo de enfermedad pulmonar

El escrutinio de individuos en riesgo de enfermedad pulmonar, como fumadores crónicos (> 35 años e índice tabáquico > 10 paquetes/año), exposición crónica a humo de biomateriales o con exposición ocupacional (humos, polvo o contaminantes atmosféricos), son las indicaciones de este tipo más frecuentes. No está indicada en individuos asintomáticos y sin factores de riesgo.

4. Impacto de la enfermedad en la función respiratoria

La espirometría no sólo es un auxiliar diagnóstico crucial, en particular en enfermedades respiratorias obstructivas (asma y EPOC), también permite cuantificar el impacto de la enfermedad en la función. La gravedad de la obstrucción correlaciona sustancialmente con síntomas como la disnea y con la calidad de vida de los enfermos.

5. Monitoreo (vigilancia y seguimiento de las enfermedades)

Las personas con padecimientos respiratorios crónicos pueden vigilarse y seguirse con espirometría de una manera más eficiente que con otros métodos, algunos ejemplos específicos son como sigue:

a) En EPOC, al menos de forma anual, para detectar caída rápida del flujo (> 0.50 L/año en FEV_1).
b) En fibrosis pulmonar idiopática para detectar caída rápida en la FVC (> 10% de FVC en menos de seis meses).
c) Vigilancia para el control del asma y durante la crisis, la frecuencia puede variar en horas, días, semanas o meses, según sea el caso.
d) En fibrosis quística, gradúa la gravedad de la enfermedad.
e) En enfermedades neuromusculares, en niños menores de 12 años de forma anual y en mayores de 12 años, que ya requieran silla de ruedas o tengan FVC < 80%, de forma semestral. Habitualmente, en estos pacientes con una FVC menor al 40% del predicho se recomiendan medidas de reclutamiento de volumen y tos asistida; con FVC < 30% se recomienda inicio de ventilación no invasiva.

6. Monitorización de la respuesta a tratamientos

La espirometría es una prueba muy útil en la vigilancia y monitorización de tratamientos; al

www.neumographic.org.mx

inicio y después de intervenciones terapéuticas en enfermedades pulmonares, como: broncodilatadores, esteroides en las enfermedades intersticiales del pulmón, en la insuficiencia cardiaca crónica, el de antibióticos en la fibrosis quística y en la indicación y vigilancia del trasplante pulmonar.

7. Descripción del curso de la enfermedad (investigación)

La espirometría es útil con fines de investigación para describir el curso de enfermedades pulmonares crónicas, o en sujetos con exposiciones atmosféricas, drogas o radioterapia.

8. Definición del pronóstico de una enfermedad

La espirometría es una prueba pronóstica, ya que correlaciona con la esperanza de vida de las personas; una prueba con valores muy bajos predice mayor mortalidad general y respiratoria, más riesgo quirúrgico (trasplante pulmonar, resección pulmonar, cirugía en pacientes con EPOC) y mayor riesgo de cáncer pulmonar. Además, es recomendable valorar estado funcional antes de enrolarse en actividades físicas intensas.

9. Salud ocupacional

La espirometría es la prueba funcional respiratoria más importante en los procesos médico-legales de valoración de la deficiencia respiratoria para la determinación de discapacidad. Se recomienda una prueba al ingreso al trabajo de riesgo respiratorio y posteriormente de forma anual. Una caída de FEV_1 o FVC mayor al 10 o 15% del valor inicial indica mayor valoración pulmonar del trabajador. En casos legales define la compensación a trabajadores por deficiencia respiratoria (Capítulo 18).

10. Vigilancia de salud y riesgo pulmonar por toxicidad

Valoración y seguimiento de personas sujetas a tóxicos pulmonares incluyendo fármacos como insulinas u otros medicamentos inhalados (excepto broncodilatadores y esteroides inhalados) y quimioterapia (bleomicina, gemcitabina, paclitaxel, platinos, ciclofosfamida, doxorrubicina).

11. Salud pública

La espirometría se realiza ampliamente en estudios epidemiológicos ante diferentes exposiciones, curso de enfermedad, valoración objetiva de síntomas, para la generación de ecuaciones de valores de referencia o normales y para investigación clínica.

Ejemplos de situaciones en que la espirometría tiene una utilidad clínica

1. En sujetos con disnea o síntomas respiratorios o con un riesgo respiratorio, una espirometría con obstrucción es compatible con asma, EPOC o alguna otra enfermedad respiratoria.

www.medigraphic.org.mx

Tabla 8.1: Contraindicaciones para espirometría.

I. Contraindicaciones absolutas
1. Cardiovasculares: síndrome coronario agudo, inestabilidad hemodinámica (tromboembolia pulmonar aguda) hipertensión arterial sistémica descontrolada (presión arterial media > 130 mmHg), aneurisma aórtico mayor a 6 cm
2. Hipertensión arterial sistémica descontrolada (PAM > 130 mmHg)
3. Hipertensión intracraneal
4. Hemoptisis
5. Desprendimiento agudo de retina
6. Preeclampsia
II. Contraindicaciones relativas
1. Quirúrgicas: cirugía de tórax, abdomen, ojos, oído (hasta seis semanas)
2. Infecciones y riesgo de contagio
a. Tuberculosis pulmonar activa
b. Influenza y otras infecciones respiratorias agudas
c. Infección de oído
d. Otras
3. Otras
a. Infarto cardiaco reciente (una semana)
b. Angina estable
c. Embarazo avanzado o complicado
d. Salud precaria
e. Barrera de lenguaje
f. Neumotórax reciente (al menos dos semanas posterior a resolución)
g. Toracocentesis (menos de 24 h)
III. Vigilancia especial o contraindicaciones relativas para broncodilatador
Se puede evitar el uso o requerir aprobación por parte del médico tratante en las siguientes condiciones: hipertiroidismo, insuficiencia cardiaca y arritmias cardiacas.

www.medigraphic.org.mx

2. Si la obstrucción revierte con broncodilatadores, es compatible con el diagnóstico de asma.
3. Encontrar alteraciones funcionales en fumadores, facilita el tratamiento antitabaco, pero es importante que en resultado negativo no sea un aliciente para seguir fumando.
4. Si hay bronco-obstrucción con substancias irritantes (metacolina, histamina, aire frío

o ejercicio), se documenta hiperreactividad bronquial, un componente del asma.

5. Si se documenta un cambio agudo con un alérgeno, se comprueba etiológicamente la sensibilidad o la causa del asma o alveolitis alérgica.
6. En pacientes con disnea de reposo o de pequeños esfuerzos, hipertensión pulmonar o con hipercapnia, una espirometría muy baja (30% del esperado) es consistente con que la enfermedad pulmonar sea causante del problema.
7. Si la espirometría cae sustancialmente en decúbito, sugiere debilidad o disfunción diafragmática.
8. En sujetos con diagnóstico de asma de difícil control, la curva flujo-volumen puede sugerir estenosis traqueal o alguna otra fuente en vía aérea superior, incluyendo la disfunción laríngea.
9. El deterioro espirométrico en un paciente con trasplante pulmonar sugiere bronquiolitis obliterante o rechazo crónico.

Contraindicaciones de la espirometría

Existen contraindicaciones para realizar una espirometría, hay muy pocas que pueden considerar absolutas y la gran mayoría son relativas (Tabla 8.1). En este último caso de existir una contraindicación relativa, el técnico siempre debe solicitar la autorización del médico tratante del paciente y debe realizar la prueba bajo supervisión médica.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

9

Maniobra espirométrica o de FVC

Es recomendable que la maniobra de espirometría se complete de acuerdo con los estándares internacionales (ATS/ERS 2005), los cuales se resumen en la Tabla 9.1 con algunas modificaciones prácticas. Asimismo, en los Anexo 2 y 3 se presenta, respectivamente, un cuestionario de espirometría y el procedimiento de laboratorio completo para espirometría forzada.

1. Preparación del equipo antes de la prueba

Antes de la prueba, todos los componentes del espirómetro (mangueras, sensores, etc.) deben estar limpios, desinfectados y ensamblados; además, el equipo debe encenderse y calentarse antes del uso, si se requiere. La prueba debe realizarse en temperaturas ambientales de 17 a 40 °C. Se requiere llevar un control de la temperatura ambiental, aunque cada vez con mayor frecuencia los espirómetros incluyen termómetros internos que registran continuamente los cambios en la temperatura. La temperatura del equipo es importante para la transformación automática de las mediciones a condiciones de temperatura corporal (condiciones BTPS). El técnico debe calibrar o verificar la calibración del equipo; este procedimiento se realiza al menos una vez al día, antes del inicio de actividades (Capítulo 16). Si el espirómetro no cuenta con termómetro interno, la temperatura debe actualizarse antes de la calibración y de cada

www.medigraphic.org.mx

Tabla 9.1: Maniobra de FVC (ATS/ERS 2005).

1. Calibrar el espirómetro verificar su calibración
2. Presentación y explicación de la prueba
3. Preparar al sujeto para la prueba
   a) Verificar contraindicaciones de la prueba
   b) Investigar tabaquismo, enfermedad reciente, uso de medicamentos (broncodilatadores y ejercicio intenso). Esta información se debe recabar, pero no contraindica la prueba
   c) Procedimientos administrativos
   d) Antropometría (pesar y medir al sujeto o paciente sin zapatos)
   e) Variables de medio ambiente
4. Instruir para la prueba:
   a) Posición sentada con la cabeza ligeramente levantada
   b) Inhalar rápidamente y de manera completa
   c) Posición correcta de la boquilla (circuito abierto)
   d) Exhalar con máximo esfuerzo
   e) Mantener esfuerzo de exhalación hasta que se indique terminación
5. Demostrar la prueba
6. Realizar la maniobra: Circuito abierto:
   a) Colocar al sujeto en la posición correcta
   b) Colocar la pinza nasal
   c) Inhalar de manera completa y rápida (< 1 segundo)
   d) Colocar correctamente la boquilla (siempre una nueva)
   e) Exhalación máxima hasta que no se pueda expulsar más aire mientras se mantiene la posición del tronco recta con el cuello ligeramente elevado
   f) Estimular vigorosamente durante la exhalación
   g) Repetir un mínimo de tres buenas maniobras (generalmente no se requieren más de 8)
   h) Revisar la repetibilidad de la prueba y realizar más maniobras si es necesario (se pueden realizar hasta 15)
7. Realizar la maniobra: Circuito cerrado:
   a) Colocar al sujeto en la posición correcta
   b) Colocar pinza nasal
   c) Colocar correctamente la boquilla (siempre una nueva)
   d) Inhalar de manera completa y rápida (< 1 segundo)
   e) Exhalación máxima hasta que no se pueda expulsar más aire mientras se mantiene la posición del tronco recta con el cuello ligeramente elevado
   f) Estimular vigorosamente durante la exhalación
   g) Inspiración máxima, nuevamente rápida y completa
   h) Repetir las instrucciones y la demostración de la maniobra si es necesario
   i) Repetir un mínimo de tres buenas maniobras (generalmente no se requieren más de 8)
   j) Revisar la repetibilidad de la prueba y realizar más maniobras si es necesario (se pueden realizar hasta 15)

prueba. Además, debe estar codificado a la altitud o presión barométrica y humedad relativa locales. Estos procesos pueden variar de acuerdo con los equipos, por lo que deben seguirse las instrucciones de los fabricantes.

2. Procedimientos administrativos

Se debe revisar la solicitud médica y confirmar el nombre completo, la fecha de nacimiento y el número de registro; en general, se recomienda que siempre se incluya el número de registro único y progresivo que identifique a la persona y la identificación del técnico. Durante la preparación del sujeto deben tomarse todas las variables administrativas requeridas por el equipo y el laboratorio. Esto último es fundamental para los procesos de control de calidad.

3. Preparación del sujeto para la prueba

Antes de iniciar la prueba, el técnico debe presentarse con el sujeto o paciente, se debe tratar de entablar una relación cordial que a su vez ayuda a tranquilizar al individuo. Asimismo, se debe explicar la prueba; en términos generales, la siguiente explicación es la más comprendida para la mayoría de las personas:

"La espirometría es una prueba sencilla que sirve para medir el tamaño de sus pulmones y ver si sus bronquios se encuentran obstruidos"

www.medigraphic.org.mx

Se deben investigar las contraindicaciones para realizar una espirometría; todas ellas son relativas y ya se han descrito en la Tabla 8.1. Asimismo, deben investigarse los antecedentes inmediatos que pueden influir en los resultados del estudio (tabaquismo, enfermedades recientes, especialmente infecciones respiratorias, uso de medicamentos broncodilatadores y ejercicio intenso). Esta información puede ser obtenida por medio de cuestionarios breves y estandarizados que agilizan el proceso. Un ejemplo de un cuestionario previo a la espirometría se presenta (Anexo 2). Además, este cuestionario pregunta sobre exposición reciente al tabaco, al ejercicio o a una infección respiratoria aguda, para que se pueda tomar en cuenta en el análisis. No se debe rechazar a un sujeto por alguno de estos motivos, sólo debe quedar registrado para poderse ajustar en el momento del análisis. Si algún antecedente es positivo, no es motivo estricto de cancelación de la prueba, pero deben ser registrados. Los sujetos o pacientes deben estar libres de infección respiratoria durante al menos dos semanas previas al estudio. Debe evitarse o en su defecto registrarse el uso de medicamentos broncodilatadores previo a la espirometría. En la actualidad, existen medicamentos de este tipo con efectos de seis a 24 horas, por lo que deben suspenderse el tiempo necesarios, según sea el caso. El tabaquismo agudo puede disminuir la función pulmonar y se recomienda suspender con un mínimo de tres horas antes de la prueba. Asimismo, para la interpretación de la prueba es de gran utilidad cuantificar el grado de tabaquismo, de acuerdo a dos preguntas sencillas que investiguen: 1) el número total de años que el individuo ha fu-

mado en su vida; y 2) el número promedio de cigarros fumados por día. Con esta información se puede obtener el índice tabáquico (IT) en paquetes / año:

IT = (Número de cigarros por día * número total de años de tabaquismo) / 20

La medición de peso y estatura es fundamental para el cálculo de valores de referencia. Estas variables no deben interrogarse; deben obtenerse sin zapatos usando básculas y altímetros estandarizados. En caso de individuos con limitaciones físicas que no permitan obtener medición directa de la estatura, se puede usar la longitud total de los brazos extendidos (Anexo 3, procedimientos de espirometría).

Medición del peso y estatura: Antes del estudio se pesa y mide al sujeto, no se deben sólo preguntar estos datos. El peso en kg (sin fracciones, redondeando al número completo más cercano); la talla sin calzado se captura en centímetros sin fracciones. En caso de que el paciente no pueda ponerse de pie o haya deformidades que ocasionen que la talla vertical sea una subestimación importante de la longitud del cuerpo, conviene tener también la brazada (ver sección de situaciones especiales), se solicita al sujeto que extienda los brazos al máximo en direcciones opuestas y se mide la distancia entre el extremo del dedo medio de cada mano. La estatura se estima en centímetros dividida entre 1.03 para hombres y entre 1.01 para mujeres.

4. Instrucción para la prueba

El técnico debe instruir sobre los pasos de la espirometría que incluyen: 1) la posición correcta para la prueba; 2) el uso correcto de la boquilla y 3) la maniobra espirométrica. La prueba debe realizarse con el sujeto sentado en una silla sin ruedas y con soporte para brazos. Se instruye al sujeto a que se coloque con el tórax y cuello en posición recta y con ambos pies apoyados en el piso. Si se utiliza una posición diferente, ésta debe registrarse en el informe. La colocación de la pinza nasal es de rutina y la boquilla debe sujetarse con los dientes, sellando bien los labios alrededor y evitando obstruirla con la lengua. La instrucción de la maniobra debe detallar que el individuo inhale de manera rápida y completa hasta que llegue a su capacidad pulmonar total, seguida de una exhalación con máximo esfuerzo y sostenida hasta que el técnico indique la terminación.

5. Demostración de la prueba

Es indispensable que después de la instrucción de la prueba el técnico demuestre cómo debe ser la maniobra, resaltando los pasos instruidos. De esta manera resulta más claro para el individuo cómo debe realizar la maniobra.

www.medigraphic.org.mx

6. Ejecución de la maniobra

La maniobra de FVC requiere tres pasos fundamentales:

1) Inspiración máxima,
2) Exhalación explosiva,
3) Exhalación continua y sostenida hasta el final de la maniobra.

La maniobra espirométrica puede realizarse con circuito cerrado o circuito abierto (Tabla 9.1). En circuito cerrado, el individuo inhala y exhala desde y hacia el espirómetro, mientras que en la maniobra de circuito abierto, el individuo sólo exhala hacia el espirómetro durante la espiración forzada. La maniobra de circuito cerrado tiene la desventaja de que el individuo inhala directamente del espirómetro, donde pueden existir contaminación, por lo que es recomendable que en esta maniobra se utilicen filtros para bacterias y virus respiratorios. En este caso, la calibración del equipo debe incluir el filtro.

Maniobra de circuito abierto

1. Colocarse al sujeto en la posición correcta.
2. Coloca la pinza nasal.
3. Sin tener la boquilla puesta, indica que se realice inspiración rápida y máxima, < 1 segundo, hasta llegar a capacidad pulmonar total.
4. Se asegura que se coloca adecuadamente la boquilla (siempre debe usarse una boquilla nueva en cada paciente).
5. Indica el inicio de la exhalación, que debe ser explosivo (con máximo esfuerzo), y se estimula **vigorosamente** ("siga soplando", "mantenga el esfuerzo", etc.) hasta que se alcance un criterio de terminación (más de seis segundos de exhalación y meseta de dos segundos sin incremento de volumen en la curva volumen-tiempo) (ver criterios de aceptabilidad y repetibilidad).
6. El individuo se retira de la boquilla para inhalar nuevamente.
7. En caso de una maniobra fallida, se deben repetir las instrucciones y la demostración.
8. Completa un mínimo de tres buenos esfuerzos que llenen criterios de aceptabilidad, para ello generalmente no requiere realizar más de ocho maniobras.
9. Revisa los criterios de repetibilidad y, si es necesario, se pueden realizar hasta 15 maniobras.

Maniobra de circuito cerrado

1. Coloca al sujeto en la posición correcta. En general, la espirometría puede realizarse con el individuo sentado o parado sin encontrar grandes diferencias en los resultados. Sin embargo, los estándares actuales (ATS/ERS 2005) recomiendan por seguridad que la ejecución de la prueba se realice con el individuo sentado en una silla fija (sin ruedas) que tenga descansa-brazos. Individuos mayores y enfermos pulmonares pueden presentar mareo o desmayo durante la espiración forzada. Además, la posición siempre debe ser con el tronco erguido y la cabeza ligeramente elevada y ésta debe mantenerse durante todo el esfuerzo espiratorio.
2. Coloca la pinza nasal, lo que evita que el individuo vuelva a inhalar por la nariz durante la maniobra.

www.medigraphic.org.mx

3. Se asegura que el individuo se coloca adecuadamente la boquilla (siempre debe usarse una boquilla nueva en cada paciente).
4. Indica que después de una o dos respiraciones normales (en volumen corriente) realiza una inspiración rápida y máxima, < 1 segundo, hasta llegar a capacidad pulmonar total.
5. Indica el inicio de la exhalación que debe ser explosivo (con máximo esfuerzo) y estimula **vigorosamente** ("siga soplando", "mantenga el esfuerzo", etc.) hasta que se alcance un criterio de terminación (más de seis segundos de exhalación y meseta de dos segundos sin incremento de volumen en la curva volumen-tiempo) (ver criterios de aceptabilidad y reproducibilidad).
6. Nuevamente, instruye para una inspiración máxima, rápida y completa, hasta llegar nuevamente a la capacidad pulmonar total.
7. En caso de una maniobra fallida, repite las instrucciones y la demostración.
8. Completa un mínimo de tres buenos esfuerzos que llenen criterios de aceptabilidad, para ello generalmente no requiere realizar más de ocho maniobras.
9. Revisa los criterios de repetibilidad y, si es necesario, se pueden realizar hasta 15 maniobras para alcanzar éstos.
10. Observar los mensajes de error de los equipos.

Aspectos relevantes para el técnico

www.medigraphic.org.mx

El papel del técnico durante la prueba es fundamental. El técnico debe ser activo, entusiasta y motivador. Siempre debe mantener una actitud correcta para estimular a los sujetos; esto incluye dar adecuadamente las instrucciones, con el tono de voz adecuado y con la gesticulación adecuada. La voz durante la realización de las pruebas debe ser clara y fuerte. Puede ser discutible el que se grite durante la prueba; algunas personas se pueden sentir presionados o agredidos. En estas circunstancias, se puede evitar gritar, pero no la voz fuerte y clara. Otros aspectos relevantes para facilitar el desempeño de los técnicos se enumeran a continuación:

1. Presentarse amablemente y de preferencia sonriendo.
2. Explicar la prueba, demostrarla e instruir apropiadamente.
3. Sobre todo, la primera indicación de soplar, "el primer SOPLE" debe ser fuerte y en muchos casos un movimiento de mano y brazo como de "banderazo de salida".
4. La estimulación al soplar: "sople, sople, siga soplando, siga soplando; debe ser fuerte y clara. SOPLE, SOPLE, SOPLE, SIGA SOPLANDO, SIGA SOPLANDO"; gritando puede no ser necesariamente mejor.
5. Ayuda tocar el hombro del sujeto con la mano para evitar que se flexione hacia delante. Además, esto mantiene el contacto visual del técnico con el paciente.
6. Un "buen" técnico logra mejores esfuerzos; es decir, logra completar tres esfuerzos aceptables con menos maniobras y, en general, fatiga menos a las personas. El porcentaje

de maniobras aceptables en relación a las totales es mayor en los buenos técnicos.

7. Es importante aclarar que el desempeño de los técnicos mejora con la experiencia y se puede mejorar al grado de hacer bastante homogéneo a un grupo. Sin embargo, es indispensable identificar los puntos en los que un técnico se ha rezagado con relación a sus compañeros para poderlo estimular y mejorar en su desempeño.
8. Muchas veces el problema está en la forma de interaccionar con los pacientes.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

10

Gráficas de volumen-tiempo y de flujo-volumen

Las gráficas de volumen-tiempo (VT) y de flujo-volumen (FV) siempre deben estar incluidas en la espirometría; son de mucha utilidad para valorar la calidad de los esfuerzos espiratorios. En estas gráficas se puede observar el grado de esfuerzo, la duración de la espiración y la presencia de artefactos; también pueden servir para fines de interpretación.

Gráfica volumen-tiempo

La gráfica volumen tiempo (VT) (Figura 10.1), con frecuencia llamada sólo espirograma, presenta el tiempo en segundos en el eje horizontal (eje-x) contra el volumen en litros en el eje vertical (eje-y). Un espirograma aceptable muestra un inicio abrupto con un incremento brusco en el volumen durante el primer segundo de la espiración. Posteriormente, alcanza una transición o rodilla de la curva entre los segundos 1 y 2 y finalmente, una meseta donde durante varios segundos hay poco incremento en el volumen. La mayoría de los adultos alcanza la FVC antes del segundo 6. Sin embargo, algunos adultos mayores o personas con obstrucción al flujo aéreo requieren más de 10 segundos de espiración. Técnicamente, se requiere de una meseta al menos de un segundo donde el volumen no cambia más de 25 mL para decir que el individuo ha alcanzado su FVC. En esta gráfica es fácil identificar los volúmenes exhalados, particularmente la FVC, también se pueden observar el FEV_1 y FEV_6.

www.medigraphic.org.mx

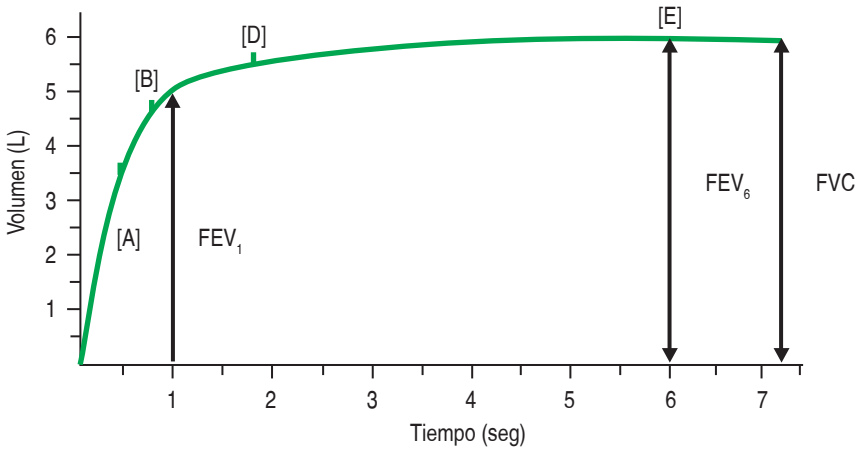


Figura 10.1: Ejemplo de curva volumen-tiempo (VT). Se grafica el tiempo en segundos en el eje horizontal (eje-x) contra el volumen en litros en el eje vertical (eje-y). Una curva normal muestra un ascenso vertical rápido [A], una transición en el volumen o rodilla [B] y una meseta [D] que describe la duración del esfuerzo. La terminación adecuada o meseta técnica se alcanza al final (E), cuando no hay cambios de volumen mayores a 25 mL, por al menos 1 segundo. En esta curva se identifican con facilidad la FVC, el FEV_1, el FEV_6 y la duración del esfuerzo espiratorio (> 6 segundos).

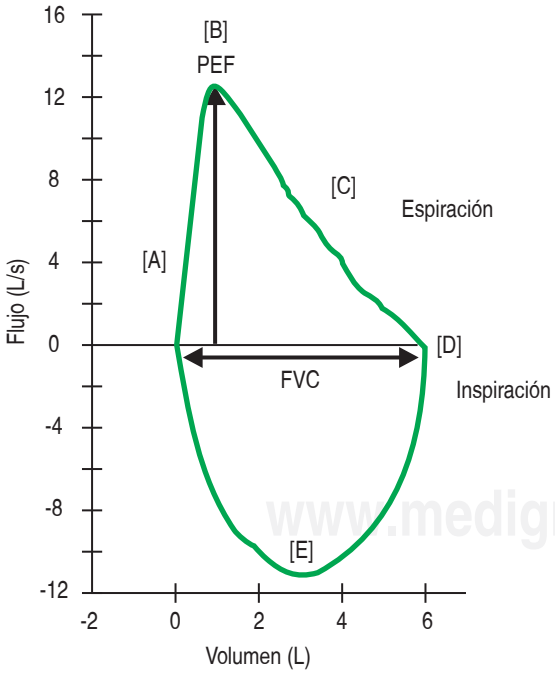


Figura 10.2: Ejemplo de curva flujo-volumen. Se grafica el volumen en litros (eje-x) contra el flujo en L/s (eje-y). La fase espiratoria, en forma de triángulo, se muestra por arriba del eje horizontal y por debajo de este la fase inspiratoria en forma de semicírculo. Una curva de buena calidad muestra un ascenso muy vertical [A], la generación de un flujo máximo, flujo pico o PEF [B], una caída progresiva del flujo [C] conforme avanza el volumen hasta llegar de forma progresiva al flujo cero, que coincide con la FVC [D]. La fase inspiratoria es semicircular e iguala el volumen espirado [E]. En esta curva se identifican con facilidad la FVC y el PEF.

www.medigraphic.org.mx

Gráfica de flujo-volumen

La gráfica de flujo-volumen (FV) (Figura 10.2) presenta el comportamiento del flujo espiratorio (equivalente a la aceleración del volumen) en el eje vertical contra el volumen espirado en el eje horizontal. Esta curva tiene una fase espiratoria de forma triangular y una fase inspiratoria de forma semicircular que se presentan por arriba y por abajo, respectivamente, del eje horizontal. Sin embargo, en la mayoría de las pruebas sólo se muestra la fase espiratoria. La fase espiratoria, de forma triangular, inicia con un ascenso muy vertical que termina en un vértice que representa el flujo máximo o flujo pico (PEF) y que se alcanza antes de los 0.12 segundos de la espiración. Esta curva es de gran utilidad para evaluar el esfuerzo inicial del paciente. Se puede observar el volumen exhalado (FVC), el flujo máximo y otros flujos espiratorios secundarios. En resumen, ambas gráficas (VT y FV) son complementarias y nos describen tres variables fundamentales, volumen, flujo y tiempo. Estas variables se podrían presentar en una sola gráfica (Figura 10.3) que resultaría más compleja de generar, evaluar e interpretar.

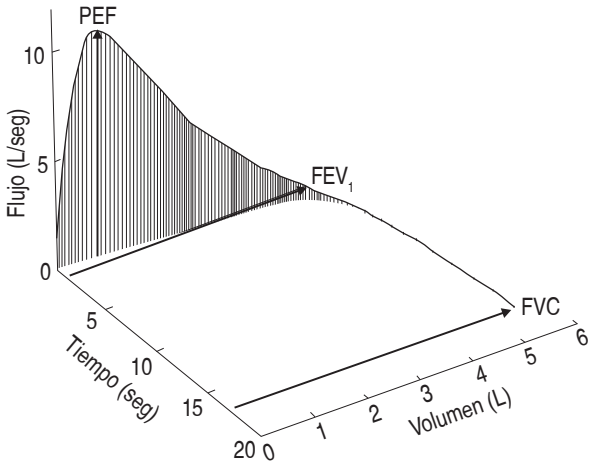


Figura 10.3: Ejemplo de curva flujo-volumen-tiempo (FVT). Sólo se genera con fines didácticos, para demostrar similitudes y diferencias entre sus componentes. Ningún espirómetro la genera de manera habitual. En la práctica es más fácil evaluar las curvas VT y FV por separado.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

11

Aceptabilidad y repetibilidad de la espirometría

Los estándares internacionales ATS/ERS 2005 definen con precisión las características de una espirometría de buena calidad y que se refieren como criterios de aceptabilidad y de repetibilidad de las maniobras de FVC. Los criterios de aceptabilidad se refieren al inicio de la exhalación (con máximo esfuerzo), la duración y terminación completa del mismo y que las maniobras están libres de artefactos (Tabla 11.1). La repetibilidad se refiere a la mayor coincidencia de mediciones repetidas y consecutivas.

Valoración de aceptabilidad

Inicio con máximo esfuerzo

Un inicio adecuado de una maniobra de FVC depende de que el comienzo de la exhalación sea con máximo esfuerzo. Esto se evalúa de dos formas, la primera de ellas es la extrapolación retrógrada y la segunda es la evaluación de la curva FV. El método de extrapolación retrógrada determina un "nuevo tiempo cero" que marca el comienzo para todas las mediciones cronometradas (FEV_1, FEV_6, etc.). El nuevo tiempo cero se define cuando se traza una recta que sigue la mayor pendiente del inicio de la exhalación en la gráfica VT (Figura 11.1). El método de extrapolación retrógrada también permite obtener el volumen extrapolado. Un volumen extrapolado menor a 0.15 L o 5% de la FVC (el que sea mayor) permite un tiempo cero más exacto y asegura que el FEV_1 provenga del máximo esfuerzo. La mayoría de los espirómetros modernos sólo muestran el volumen extrapolado, generalmente con leyendas de aseguramiento

www.medigraphic.org.mx

de calidad que advierten al usuario sobre volúmenes extrapolados grandes con la finalidad de que las maniobras no sean aceptadas.

El segundo criterio de inicio con máximo esfuerzo se basa en la interpretación de la curva FV (Figura 11.2), es decir, que sea de forma triangular, con inicio ascendente casi vertical y formación de un vértice que define el flujo máximo o pico (PEF). El PEF es altamente dependiente del esfuerzo y para ello se debe generar antes de 0.12 segundos.

Tabla 11.1: Criterios de aceptabilidad de la espirometría.

I. Inicio con máximo esfuerzo:
1. Curva flujo-volumen de forma triangular
2. Inicio casi vertical (curva flujo-volumen)
3. Volumen extrapolado menor a 150 mL

II. Terminación completa:
1. Sin cambios > 25 mL por al menos 1 segundo, al final de la curva volumen-tiempo
2. Duración de la espiración de al menos 6 segundos ($\geq$ 10 años) y de 3 segundos en menos de 10 años
3. El sujeto no puede continuar exhalando

III. Libre de artefactos:
1. Esfuerzos variables o submáximos
2. Terminación temprana
3. Tos
4. Dobles exhalaciones o exhalaciones repetidas
5. Obstrucción en boquilla o fuga alrededor de la misma
6. Cierre glótico
7. Errores de línea de base (sensores de flujo)

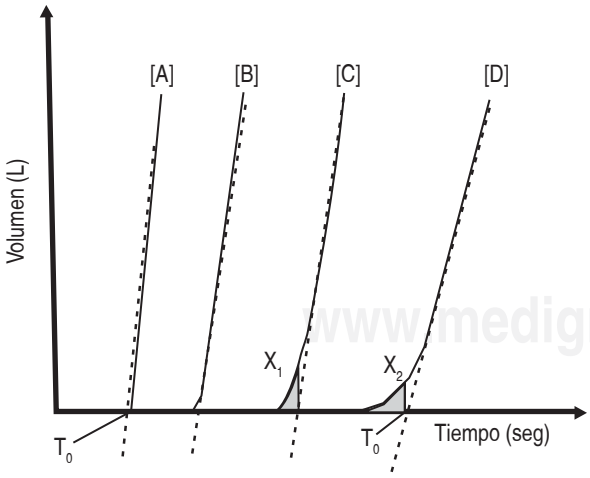


Figura 11.1:

Método de extrapolación retrógrada (línea punteada) que marca el "nuevo tiempo cero" (T_0). Esta línea se traza sobre la parte de mayor pendiente del inicio de la espiración en la gráfica volumen-tiempo. En la curva [A], el T_0 coincide plenamente con la curva mientras que en las gráficas subsecuentes [B, C y D] el T_0 se encuentra progresivamente desplazado a la derecha. El T_0 marca el comienzo de todas las mediciones cronometradas. El volumen extrapolado (áreas sombreadas) se obtiene trazando una línea perpendicular (en 90 grados) desde el T_0 hasta la curva espirométrica (X_1 o X_2). Si el volumen extrapolado es mayor de 150 mL o el 5% de la FVC (el que sea mayor) se considera una maniobra no aceptable.

www.medigraphic.com

Terminación completa

El criterio de terminación del esfuerzo espiratorio se establece cuando no se registra cambio de volumen o existe un cambio menor a 25 mL (curva VT) durante al menos un segundo, siempre y cuando el sujeto haya exhalado durante al menos tres segundos, en caso de niños menores de 10 años, y durante al menos seis segundos en individuos de 10 años o más (Figura 11.3). Personas jóvenes y enfermos pulmonares restrictivos con frecuencia completan su FVC en menos de seis segundos, por lo que en ello el criterio de terminación sólo será el de meseta de un segundo. Adicionalmente, muchos espirómetros concluyen la maniobra sólo después de que pasa un segundo sin cambio en volumen o en flujo, sin importar el tiempo de exhalación. Asimismo, al individuo también se le permite terminar la maniobra en cualquier momento que sienta alguna molestia, especialmente si existe sensación de

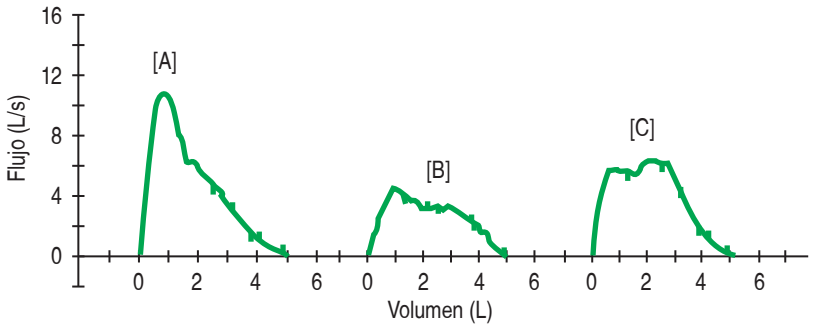
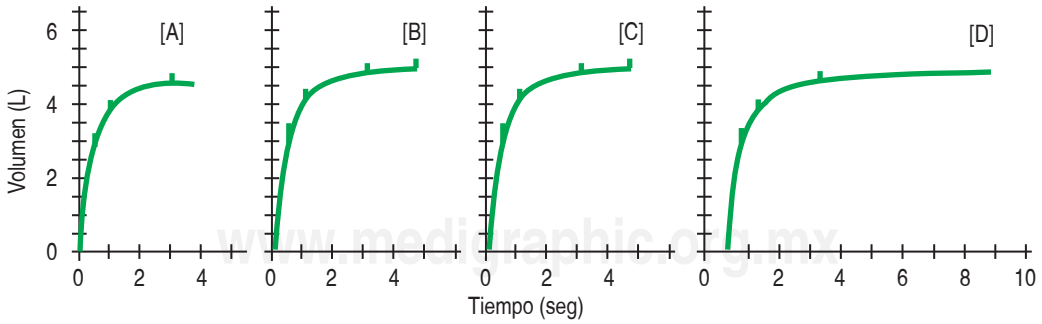


Figura 11.2: Curvas flujo-volumen registradas con diferentes grados de esfuerzo espiratorio. La gráfica [A] muestra una curva con esfuerzo máximo ilustrado por curva de forma triangular, inicio casi vertical hasta la formación de un vértice que corresponde al flujo máximo o flujo pico (PEF). Las gráficas subsecuentes [B] y [C] muestran esfuerzos variables o submáximos.



www.medigraphic.org.mx

Figura 11.3: Gráficas volumen-tiempo con terminación temprana [A, B y C] que subestiman la FVC. La curva [D] muestra criterio de terminación con duración de más de 6 segundos y sin cambio (< 25 mL) de volumen por al menos un segundo.

mareo o cercana al desmayo. En espirometría de consultorio se puede utilizar el FEV_6 como equivalente de la FVC, este parámetro es más fácil y rápido de obtener.

Evaluación de artefactos

Terminación temprana

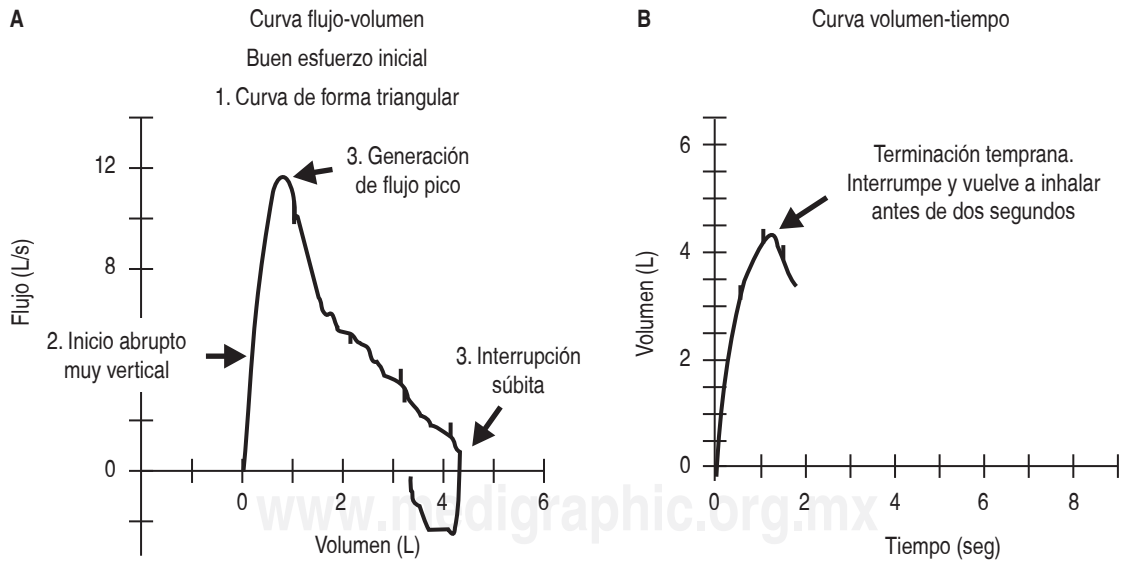
La terminación temprana es uno de los errores más frecuentes en la maniobra de FVC. Habitualmente, el individuo percibe que ha exhalado la mayor parte de aire y tiende a interrumpir el esfuerzo espiratorio. Por lo general, es un error fácil de corregir si el técnico re-entrena al individuo requiriendo que mantenga el esfuerzo hasta que se indique terminación (Figura 11.4).

Esfuerzos variables

Los esfuerzos espiratorios siempre deben ser con máximo esfuerzo del individuo; esto permite que la curva FV siempre muestre un inicio con ascenso abrupto, con la formación de flujo pico o PEF. Cuando los esfuerzos son variables o submáximos, la pendiente del inicio espiratorio se hace menos vertical y puede no identificarse el PEF. A diferencia de la curva FV, estos artefactos no son fáciles de distinguir en la curva VT (Figura 11.5).

Tos durante el primer segundo

La presencia de tos durante el primer segundo de la espiración generalmente afecta la medición



www.neumographic.org.mx

Figura 11.4: Ejemplo de esfuerzo espiratorio con terminación temprana. La gráfica flujo-volumen se traza casi de manera completa, excepto por la caída abrupta a flujo cero y el inicio de la inspiración. En contraste, en la gráfica volumen-tiempo se nota claramente que la duración del esfuerzo es menor a dos segundos con inicio de inspiración.

del FEV_1 y otros flujos (Figura 11.6). En este artefacto se observan oscilaciones grandes en el flujo (curva FV) y en forma de escalones en la (curva VT). La presencia de tos en el primer segundo hace inválida la maniobra para cualquier medición.

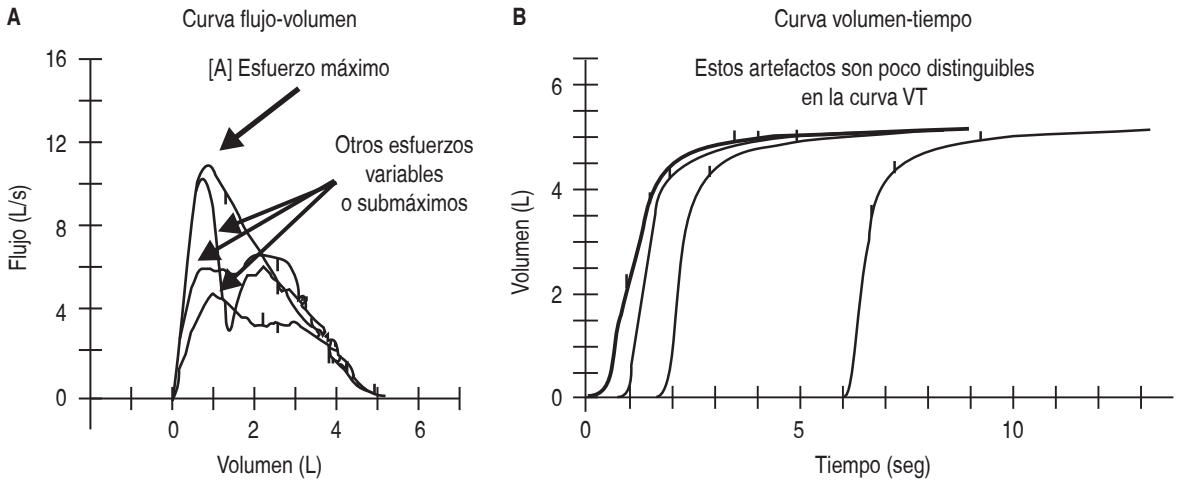
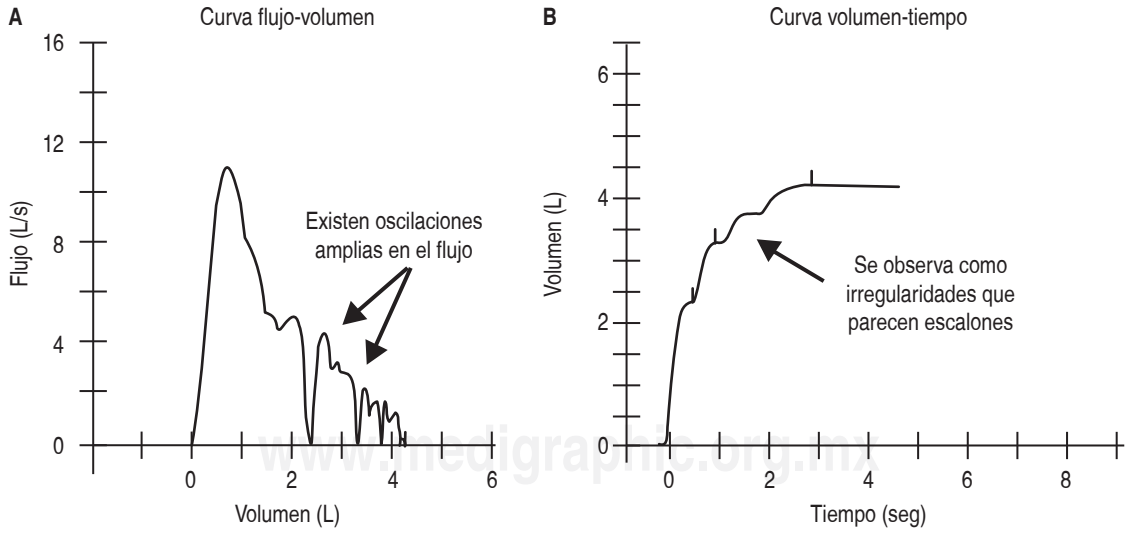


Figura 11.5: Esfuerzos variables o submáximos que se identifican por inicios espiratorios de menor pendiente en la curva flujo-volumen y con flujos máximos (PEF) pobremente definidos. En contraste, estos esfuerzos son mucho menos perceptibles en las curvas volumen-tiempo.



www.medigraphic.org.mx

Figura 11.6: Tos en el primer segundo de la espiración; se observa como oscilaciones grandes de flujo (hasta flujo cero) en la curva flujo-volumen y artefactos en forma de escalones en la curva volumen-tiempo.

Dobles respiraciones o exhalaciones repetidas

Estos artefactos pueden ser relativamente frecuentes. Durante la exhalación, el individuo vuelve a inhalar por la nariz y exhala por la boca de manera repetida (Figura 11.7). Esto se evita generalmente con el uso de la pinza nasal. Sin embargo, si se registra, debe eliminarse el esfuerzo, ya que puede registrarse como FVC artificialmente elevada.

Obstrucción de la boquilla

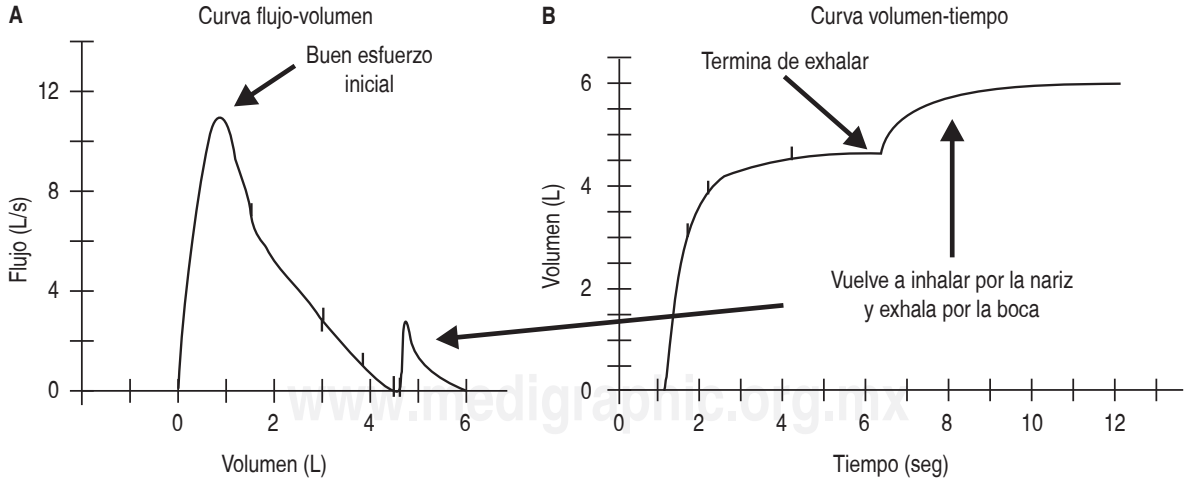
La obstrucción de la boquilla puede darse por colocar la lengua dentro de la misma, por morderla o por colocarla por delante de los dientes. Esto normalmente se evita con una buena instrucción del individuo y con una demostración adecuada. Este artefacto se visualiza particularmente como un aplanamiento del asa espiratoria e incluso inspiratoria de la curva FV (Figura 11.8).

Cierre glótico

El cierre de glotis es similar a una maniobra de Valsalva donde el individuo puja en vez de mantener la espiración forzada (Figura 11.9). Esto ocasiona una caída abrupta a flujo cero en la curva FV y una meseta completamente plana en la curva VT. Este artefacto ocasiona que se subestime la FVC y posiblemente el FEV_1.

Fuga de volumen

La fuga de volumen es un artefacto propio de espirómetros de volumen por pérdida de hermetismo del sistema. Éste puede tener origen en la boquilla, mangueras o en las



www.medigraphic.org.mx

Figura 11.7: Ejemplo de doble respiración durante la maniobra de FVC. El sujeto no tiene pinza nasal; al final de la espiración vuelve a inhalar por la nariz y exhala nuevamente. Este error genera una FVC artificialmente elevada.

campanas o fuelles del espirómetro. Éstos se visualizan principalmente como una pérdida de volumen durante la espiración en la curva VT (Figura 11.10).

Errores de línea de base

Los errores de línea de base o de flujo cero son posibles sólo en los espirómetros de sensor de

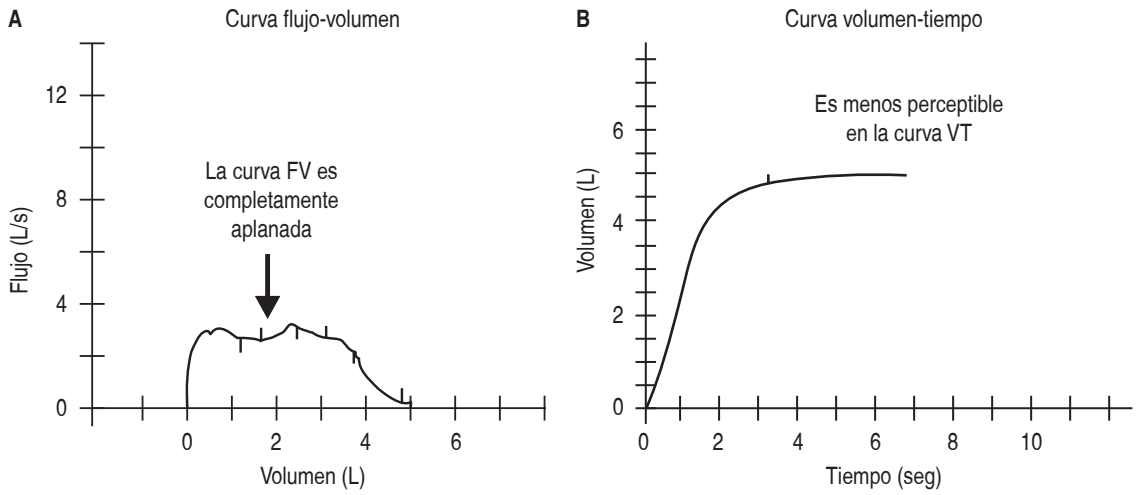
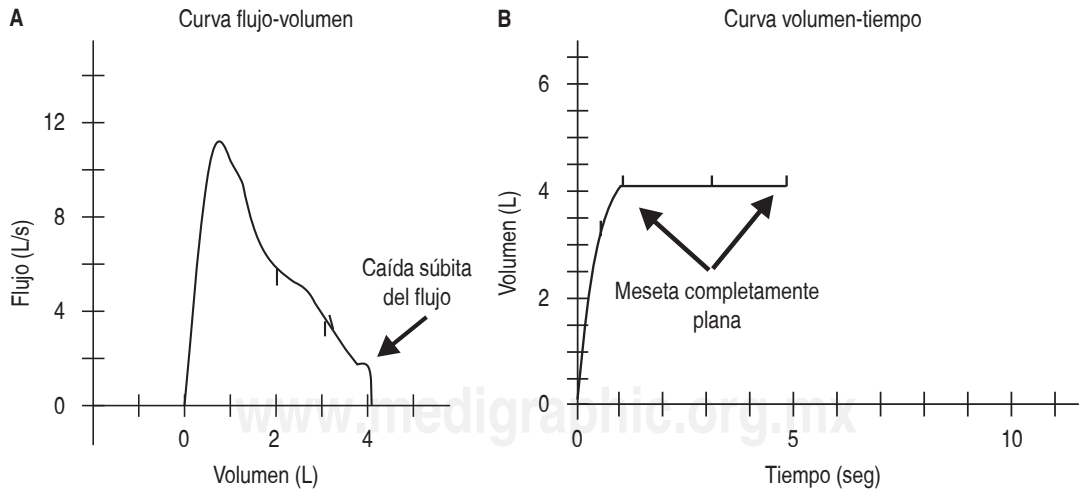


Figura 11.8: Esfuerzos espiratorios con obstrucción artificial de la boquilla. Este artefacto es evidente en la curva flujo-volumen, donde se muestra un claro aplanamiento de la fase espiratoria.



www.medigraphic.org.mx

Figura 11.9: Cierre glótico con caída abrupta a flujo cero en la curva FV y meseta, presencia de meseta de inicio súbito y completamente plana (sin cambio en volumen).

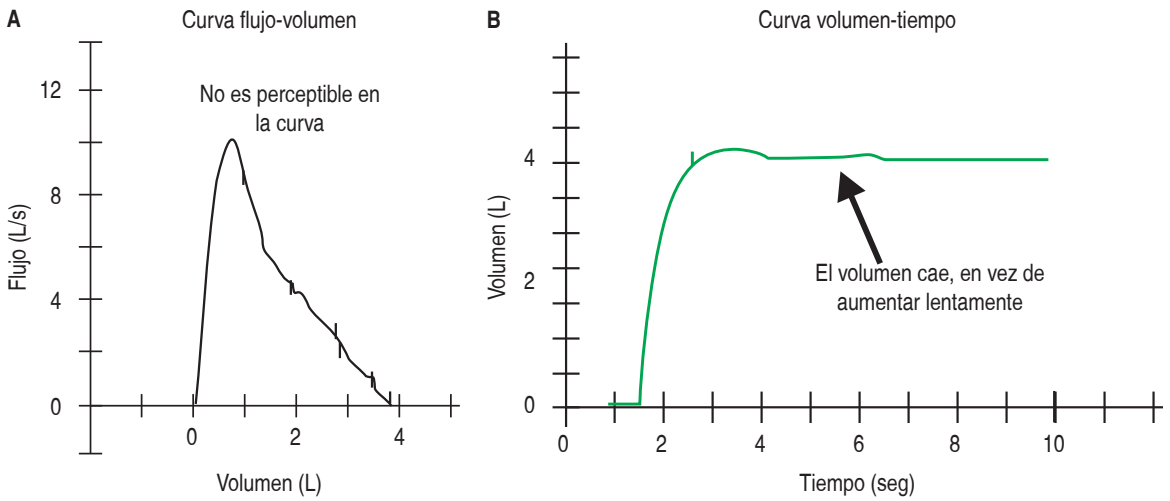


Figura 11.10: Fuga de volumen en espirómetro de volumen. Este artefacto es perceptible en la curva volumen tiempo, donde al final de la espiración se detecta una pérdida de volumen.

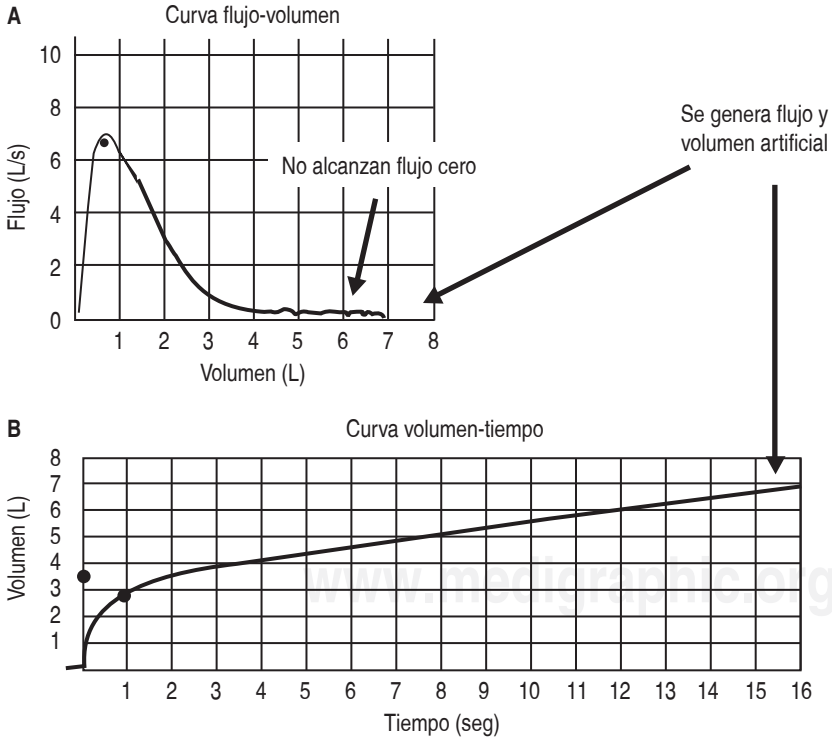


Figura 11.11:

Error de línea de base en espirómetro de sensor de flujo ultrasónico. Al final de la espiración no se alcanza flujo cero (curva flujo-volumen) y existe un incremento progresivo del volumen que tiende incluso a ser infinito en la curva volumen-tiempo.

www.medigraphic.org.mx

flujo. Estos espirómetros, justo antes de iniciar la maniobra espiratoria, requieren registrar flujo cero. Durante pocos segundos se requiere que el sensor no se mueva ni pase por éste ningún flujo de aire; es incluso conveniente ocluir la boquilla durante este tiempo. Cuando pasa algún flujo durante este momento, la línea de base o flujo cero es registrada con ganancia eléctrica lo que genera flujos y volúmenes artificiales que pueden ser incluso infinitos (Figura 11.11).

Otras curvas de flujo-volumen

Algunas curvas pueden simular artefactos, por lo que vale la pena tomarlas en cuenta. Los niños y las personas jóvenes pueden presentar con frecuencia una discreta "joroba" en la parte descendente de la curva FV (Figura 11.12). Por otra parte, las personas con disfunción laríngea, como parálisis de cuerdas vocales, y obstrucción de la vía aérea de grueso calibre, como sucede en la estenosis traqueal, muestran anormalidades características de la curva FV. En particular, se observan como curvas aplanadas (Figura 11.13).

Dependencia negativa del FEV_1 al esfuerzo

Durante una maniobra espirométrica, se puede lograr un FEV_1 mayor haciendo un esfuerzo menor al máximo. En la Figura 11.14 puede verse un ejemplo de este fenómeno; muestra una maniobra con menor PEF (menos esfuerzo) y una maniobra con máximo esfuerzo (mayor PEF). La curva con menor esfuerzo tiene mayor FEV_1. Este fenómeno se debe a la compresión del aire intratorácico (con el máximo esfuerzo) que hace bajar el volumen pulmonar y el calibre de las vías aéreas. En la espirometría se busca el máximo esfuerzo (mayor PEF) y no el mayor FEV_1.

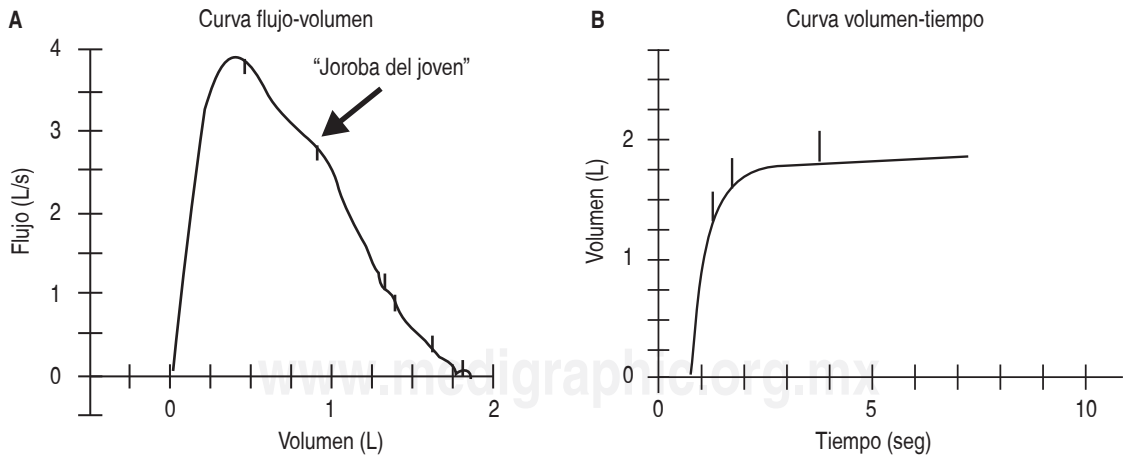


Figura 11.12: Presencia de "joroba" en la fase descendente de la curva flujo-volumen. Ésta es una variante normal que se observa en niños y personas jóvenes.

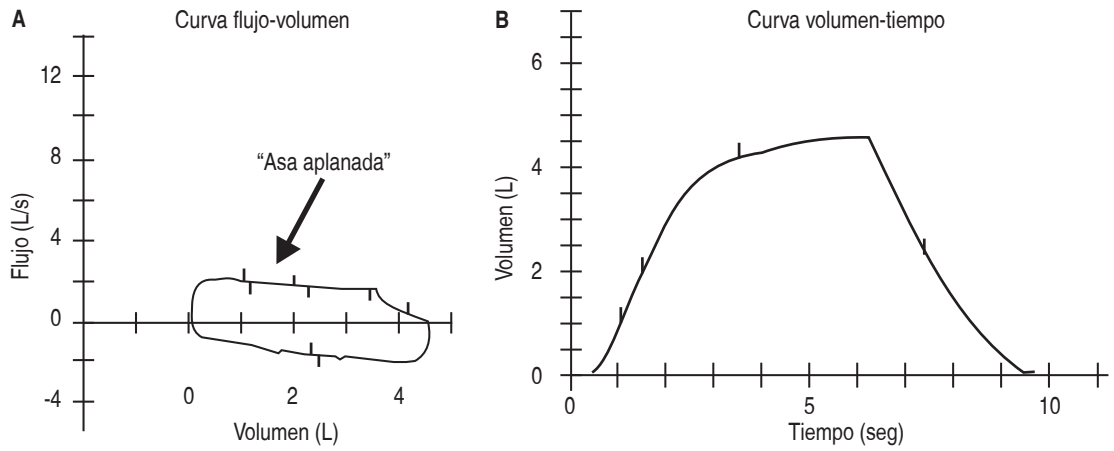
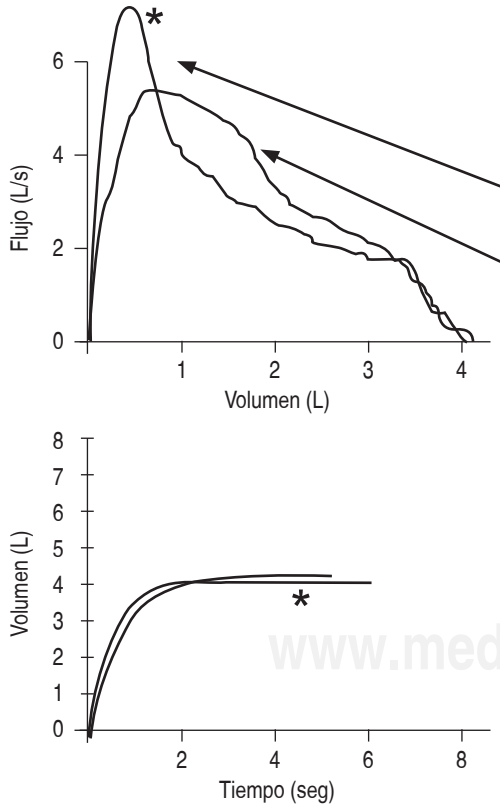


Figura 11.13: Presencia de aplanamiento completo de la fase espiratoria y fase inspiratoria de la curva flujo-volumen. Este tipo de curva se presenta en disfunciones laríngeas, como parálisis de cuerdas vocales, y en obstrucción de vía aérea de grueso calibre, como sucede en la estenosis traqueal.



Resultados		
Parámetros	Prueba 1	Prueba 2
FVC (L)	4.19	4.18
FEV_1 (L)	3.44	3.16
FEV_1/FVC	0.82	0.76
PEF (L/s)	5.57	7.40

Figura 11.14:

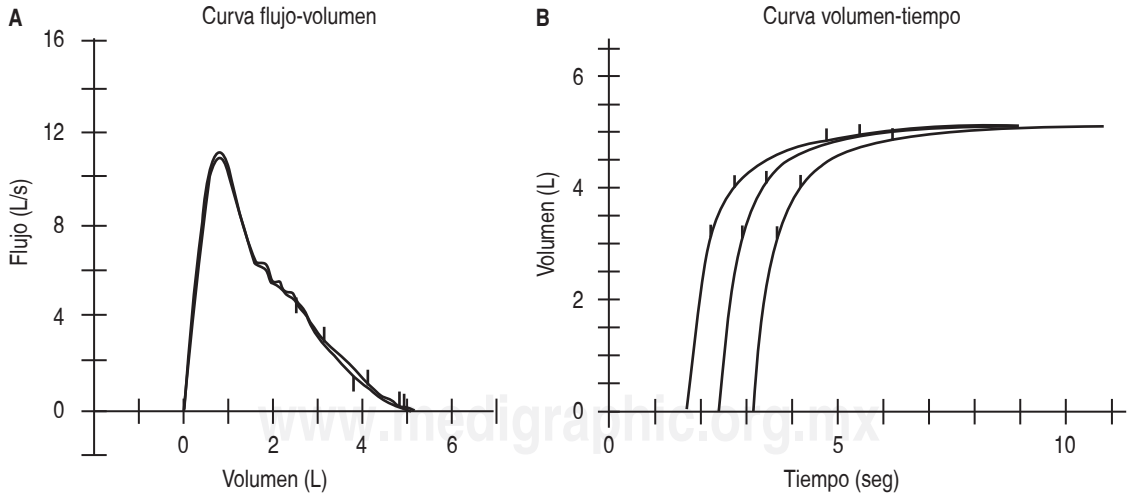
Dependencia negativa del esfuerzo del FEV_1. El esfuerzo espiratorio mayor (mayor PEF) corresponde a menor FEV_1, comparado con el menor esfuerzo espiratorio (menor PEF), que exhibe mayor FEV_1. Esta dependencia negativa se explica porque con mayor esfuerzo hay mayor compresión dinámica en los bronquios (colapso), disminuyendo el FEV_1.

www.medigraphic.com

Valoración de repetibilidad

Repetibilidad es la mayor coincidencia entre resultados obtenidos de mediciones sucesivas que implican mismo método, mismo observador, mismo instrumento, mismo lugar, misma condición y repetidas sobre un período corto de tiempo. Reproducibilidad es la mayor coincidencia entre resultados de mediciones sucesivas que implican diferentes condiciones como método de medición, observador, instrumento, lugar, condiciones de uso y tiempo. Usando estas definiciones, en una espirometría simple con varias maniobras consecutivas de FVC, se puede revisar la repetibilidad de la prueba. En contraste, si un sujeto recibe broncodilatador y la prueba se repite 30 minutos después, el observador necesita conocer la reproducibilidad de la prueba para juzgar esta comparación. La evaluación de repetibilidad consiste en 1) contar con tres maniobras de FVC aceptables; 2) aplicar a FVC y FEV_1; 3) la diferencia entre los dos valores más altos de FVC o FEV_1 debe ser $<$ 0.15 L (150 mL). En las Figuras 11.15 y 11.16 se ilustran dos espirometrías, ambas con tres maniobras aceptables, pero que corresponden respectivamente a pruebas repetible y no repetible.

	Ref	Mejor prueba	% Ref	1	2	3
FVC (L)	5.51	5.11	93	5.11	5.08	5.09
FEV_1 (L)	4.45	4.11	92	4.11	4.02	4.04
FEV_1/FVC (%)	82	80		80	79	79
PEF (L/seg)	11.25	11.34	101	11.34	11.02	11.00



www.medigraphic.org.mx

Figura 11.15: Ejemplo de espirometría con tres esfuerzos aceptables y repetibles. La variabilidad del FEV_1 es de sólo 0.07 L y de 0.03 L en la FVC (< 0.15 L). Adicionalmente, el PEF es altamente repetible.

	Ref	Mejor prueba	% Ref	1	2	3
FVC (L)	5.51	5.30	96	5.30	4.55	4.85
FEV_1 (L)	4.45	4.27	96	4.27	3.64	3.92
FEV_1/FVC (%)	82	81		81	80	81
PEF (L/seg)	11.25	12.38	110	12.38	11.07	11.36

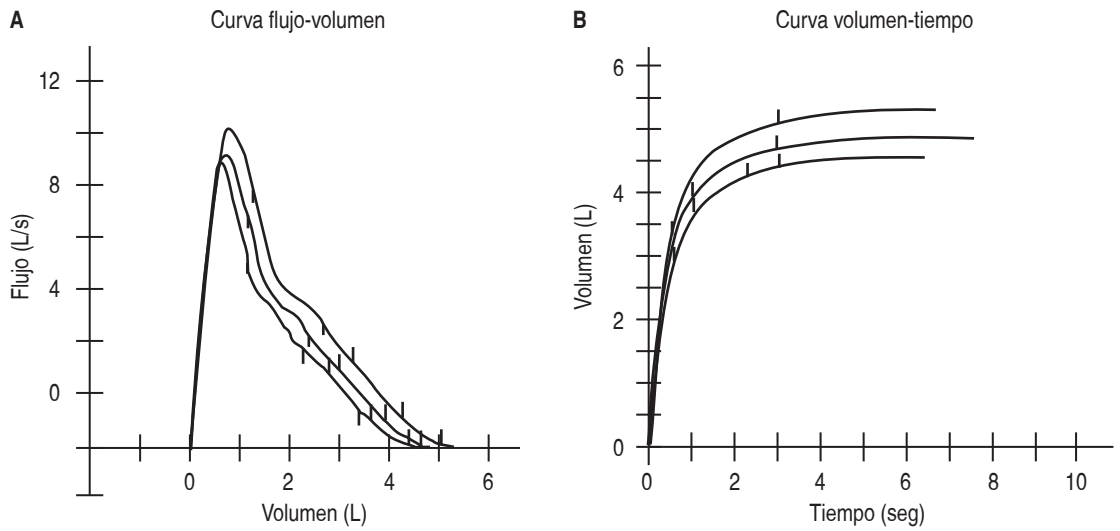


Figura 11.16: Ejemplo de espirometría con tres esfuerzos aceptables, pero no repetibles. La variabilidad del FEV_1 es de 0.35 L y de 0.45 L para la FVC.

Aplicación de los criterios de aceptabilidad y repetibilidad durante la prueba

Para obtener una espirometría de buena calidad es imprescindible que se obtenga un mínimo de tres maniobras de FVC que reúnan los criterios de aceptabilidad y repetibilidad descritos por los estándares internacionales (ATS/ERS 2005). En la Figura 11.17 se describen en forma de diagrama de flujo los pasos recomendados para alcanzar este objetivo. Durante y al final de la realización de cada maniobra de FVC, se deben aplicar los criterios de aceptabilidad (Tabla 11.1). Si el individuo falla en alguno, el técnico debe instruirlo nuevamente y de forma dirigida para corregir el error o errores cometidos. Una vez que haya obtenido tres maniobras de FVC aceptables, puede evaluar la repetibilidad de la prueba. Si la prueba no cumple con la repetibilidad, el técnico debe obtener más maniobras de FVC. La prueba se

www.neumographic.org.mx

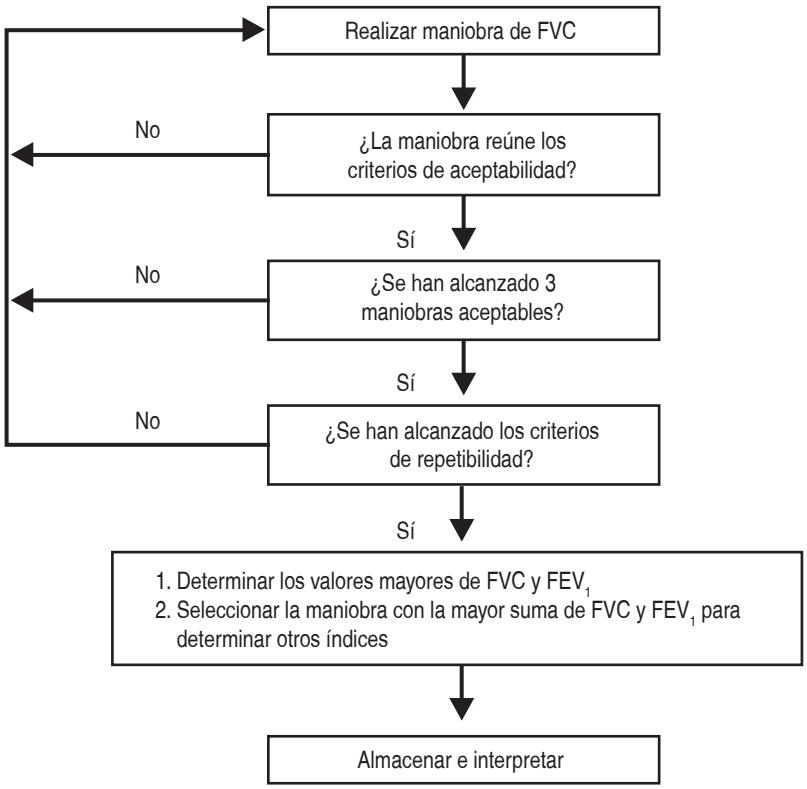


Figura 11.17:

Algoritmo de pasos recomendados por la ATS/ERS para la ejecución de las maniobras de FVC para obtener una espirometría de buena calidad.

interrumpe una vez que se hayan alcanzados maniobras aceptables y repetibles o cuando se hayan alcanzado ocho maniobras de FVC (estándar internacional), aunque en la práctica los individuos que realizan la prueba pueden hacer hasta 15 intentos.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

12

Prueba de respuesta al broncodilatador

Determinar si la obstrucción al flujo aéreo es reversible con la administración de fármacos broncodilatadores inhalados es un procedimiento común en la realización de la espirometría, particularmente con fines de diagnóstico. Cualquier tipo de fármaco broncodilatador, su dosis y la forma de administración pueden ser probadas por medio de cambios en la espirometría. Sin embargo, la prueba de broncodilatador estándar se basa en la administración de 200 a 400 microgramos de salbutamol en inhalador de dosis medida. Para esta prueba es recomendable que el paciente no haya ingerido o inhalado previamente ningún fármaco broncodilatador. En términos generales, no se debe haber inhalado β-agonistas o anticolinérgicos de corta duración (salbutamol y bromuro de ipratropio) al menos cuatro horas antes, β-agonistas de larga duración (salmeterol o formoterol) 12 horas antes o β-agonistas o anticolinérgicos de ultralarga duración (indacaterol, vilanterol, oladaterol, tiotropio, glicopirronio, aclidinio y umeclidinio) 24 horas antes; para ello debe existir un consentimiento previo del paciente y de su médico tratante.

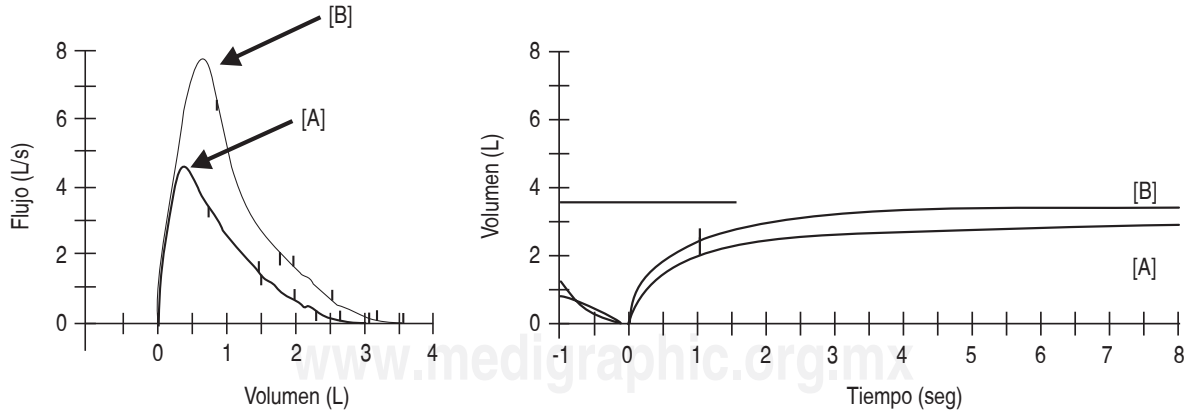
www.medigraphic.org.mx

Procedimiento estándar de prueba de broncodilatador:

1. El individuo debe haber completado una espirometría basal con tres maniobras de FVC aceptables y repetibles para FVC y FEV_1.

2. Se deben administrar 200 a 400 µg (dos a cuatro atomizaciones) de salbutamol en aerosol. Se recomiendan los siguientes pasos para su administración:
   a. Se debe usar cámara espaciadora.
   b. Se debe agitar el aerosol antes del uso.
   c. Se administra una sola atomización del broncodilatador a la vez.
   d. Realizar una espiración suave e incompleta.
   e. Inmediatamente posterior a la atomización, se inhala al máximo en una sola respiración.
   f. Sostener la respiración por 10 segundos antes de exhalar.
   g. Se administran dos a cuatro atomizaciones por separado a intervalos de 30 segundos (dosis total de 200 a 400 µg de salbutamol).
   h. Si existe preocupación por taquicardia o temblor, se pueden administrar sólo dos atomizaciones.
   i. Reposo de 15 minutos.
3. Se obtiene la espirometría postbroncodilatador (tres nuevas maniobras de FVC que sean aceptables y repetibles).

	[A] Prebroncodilatador		[B] Postbroncodilatador		Cambio
FVC (L):	3.09	(90%p)	3.57	(104%p)	0.48 (16%)
FEV_1 (L):	2.00	(79%p)	2.55	(100%p)	0.55 (27%)
FEV_1/FVC (%)	65		71		
PEF (L/seg):	4.62	(61%p)	7.80	(102%p)	3.18 (69%)



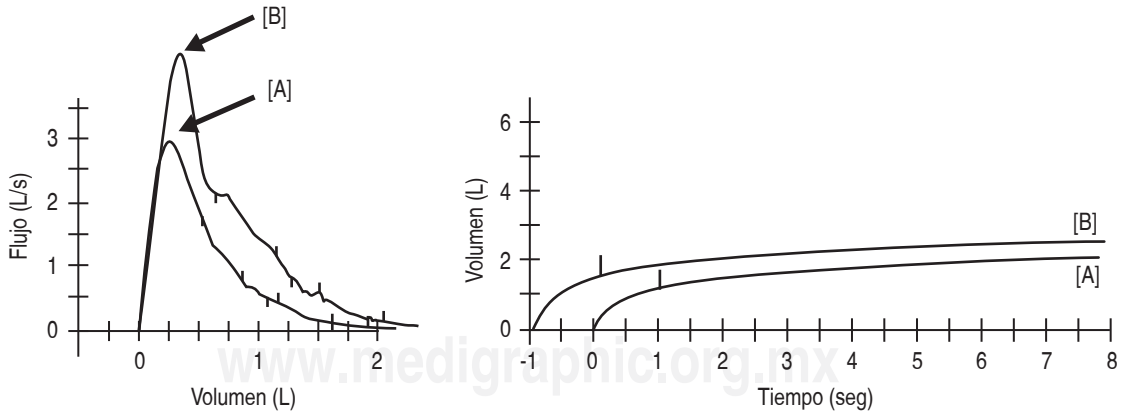
www.medigraphic.org.mx

Figura 12.1: Espirometría basal con obstrucción al flujo aéreo leve [A] y postbroncodilatador [B] realizada con la administración de 400 µg de salbutamol. Posterior a la administración del broncodilatador, existe mejoría significativa en la FVC (0.48 L y 16%) y en el FEV_1 (0.55 L y 27%) con respecto al valor basal con reversibilidad completa de la obstrucción.

Determinación de la respuesta al broncodilatador

Los estándares internacionales de interpretación establecen que una respuesta significativa al broncodilatador está definida por una mejoría en FEV_1 y/o en FVC del 12% y mayor de 200 mL con respecto al valor basal. Los valores mínimos de respuesta al broncodilatador están definidos por ser mayores a la respuesta que exhibe el 95% de la población general (percentil 95); además, son fisiológica y clínicamente significativos. Es importante mencionar que la dimensión de la respuesta al broncodilatador es dependiente de que exista obstrucción potencialmente reversible de forma inmediata y es también proporcional al volumen pulmonar. Por otra parte, una respuesta negativa no significa necesariamente que una obstrucción no sea reversible eventualmente, por lo que el valor final de la prueba depende del contexto clínico del enfermo. En este contexto, una reversibilidad completa que lleve a la normalización del FEV_1 es compatible con el diagnóstico de asma (Figura 12.1). La ausencia de respuesta al broncodilatador (cambio

	[A] Prebroncodilatador		[B] Postbroncodilatador		Cambio
FVC:	2.16 L	(63%p)	2.57 L	(74%p)	0.41 (19%)
FEV_1:	1.16 L	(48%p)	1.52 L	(62%p)	0.36 (31%)
FEV_1/FVC	54%		59%		
PEF (L/seg):	2.99 L/s	(40%p)	4.38 L/s	(59%p)	1.39 (46%)



www.medigraphic.org.mx

Figura 12.2: Espirometría basal con obstrucción al flujo aéreo grave [A] y postbroncoditalatador [B] realizada con la administración de 400 µg de salbutamol. Posterior a la administración del broncodilatador, existe mejoría significativa en la FVC (0.41 L y 19%) y en el FEV_1 (0.36 L y 31%) con respecto al valor basal con reversibilidad parcial de la obstrucción al flujo aéreo (persiste con obstrucción moderada).

en FVC y FEV_1 menor de 200 mL y 12%) suele ser compatible con obstrucción al flujo aéreo, obstrucción fija o crónica, característica de la EPOC. Asimismo, puede existir una respuesta positiva al broncodilatador, pero puede ser parcialmente reversible (Figura 12.2). En este caso, se puede tratar de un paciente con asma, EPOC o una combinación de ambas.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

13

Mediciones espirométricas y ajustes de volumen

Los gases son la materia física que sufre los mayores cambios en su volumen por condiciones ambientales. La temperatura, la presión atmosférica o barométrica y la humedad relativa son las principales variables (en ese orden) que pueden modificar el volumen. El aire contenido en los pulmones se encuentra bajo la misma presión atmosférica, pero a temperatura corporal (37 °C) y totalmente saturado de vapor de agua. A estas condiciones se les conoce como BTPS, por sus siglas en inglés (Tabla 13.1). El enfriamiento contrae los gases, lo mismo que la pérdida de agua, causada porque, al bajar la temperatura, la cantidad de agua en forma de vapor disminuye (Figura 13.1). Al momento de exhalar en un espirómetro de volumen, el aire espirado pasa de la temperatura corporal a la temperatura ambiental y disminuye la saturación de vapor de agua; esta condición se llama ATPS (condición ambiental). Esto ocasiona que el volumen de aire que mide el espirómetro sea generalmente menor al que exhaló el sujeto. La merma de volumen puede ser de alrededor del 10%, dependiendo de la temperatura ambiental y de la presión barométrica. De forma estandarizada, la medición de flujos y volúmenes deben corregirse de condiciones ATPS (espirómetro) a condiciones BTPS (pulmones), a lo que se llama ajuste o conversión BTPS (Figura 13.1).

Algunos espirómetros cuentan con unidades meteorológicas que pueden actualizar continuamente los parámetros ambientales. Para otros

www.medigraphic.org.mx

equipos, se requiere medir la temperatura ambiental dentro del laboratorio con un termómetro; errores de pocos grados centígrados generan errores significativos en el volumen ajustado. Si bien es conveniente contar con un barómetro local, es correcto utilizar la presión barométrica promedio del sitio donde se realiza la prueba.

Tabla 13.1: Condiciones ambientales para el volumen de un gas.

BTPS	BT:	Temperatura corporal *(body temperature)*, 37 °C
	P:	Presión barométrica o atmosférica (P_{atm})
	S:	Saturado de vapor de agua ($P_{atm} - P_{H2O} = P_{atm} - 47$ mmHg)
ATPS	AT:	Temperatura ambiental *(ambient temperature)*
	P:	Presión barométrica o atmosférica (P_{atm})
	S:	Saturado de vapor de agua ($P_{atm} - P_{H2O} = P_{atm} - 47$ mmHg)
STPD	ST:	Temperatura estándar *(standard temperature)*, 0 °C
	P:	Presión barométrica o atmosférica a nivel del mar (760 mmHg)
	D:	Seco *(dry)*

Tradicionalmente, se ha aplicado el mismo factor de corrección BTPS a los valores de FEV_1, FVC, FEV_6, y PEF, si se asume que en todos ellos la temperatura correcta es la ambiental o la temperatura del espirómetro. Sin embargo, se ha visto que el equilibrio del aire exhalado a las condiciones ambientales no es instantáneo, por lo que el aire que genera el PEF todavía tiene una temperatura más cercana a la corporal que el FEV_1 y que la FVC. Cuando la temperatura ambiental es más fría y difiere más de la corporal, puede generar errores mayores en el ajuste. Por lo anterior, es recomendable que la temperatura ambiental de los laboratorios esté alrededor de los 22 °C. Al aplicar al PEF el factor BTPS basado en la temperatura ambiental, se genera una sobrevaloración del mismo, ya que el factor BTPS adecuado sería el de una temperatura ambiental mayor.

La temperatura ambiental tiene efectos adicionales a la corrección BTPS. Se ha encontrado en varios estudios que, a mayor temperatura ambiental, mayor función pulmonar (ajustada a BTPS). El origen de este cambio no está bien

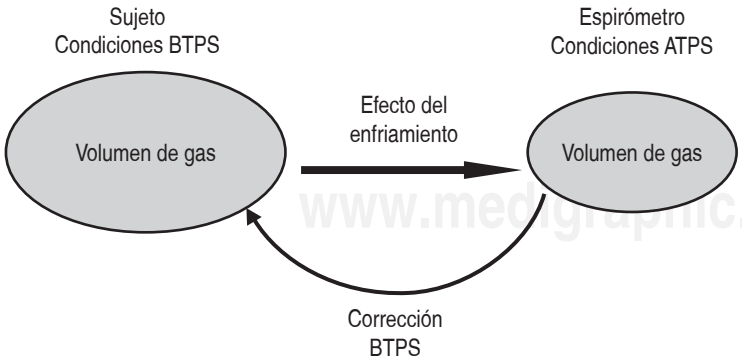


Figura 13.1:

Al momento de exhalar en un espirómetro de volumen, el aire espirado pasa de temperatura corporal (37 °C) y totalmente saturado de vapor de agua (condición BTPS) a las condiciones del espirómetro; es decir, temperatura ambiental y menos saturación de agua condición ATPS. La corrección o ajuste BTPS consiste en calcular el cambio de volumen que se perdió para determinar el volumen pulmonar original (FVC y FEV_1).

www.medigraphic.org.mx

determinado, pero pudieran participar modificaciones en el funcionamiento del espirómetro y de la electrónica o errores en la corrección BTPS, sin descartar cambios en la función respiratoria reales.

La presión atmosférica o barométrica es la presión o fuerza que ejerce la columna de aire (atmosfera) sobre la superficie terrestre. Toda la materia, incluyendo los gases, es atraída a la Tierra por su fuerza de gravedad. El 50% de la atmosfera se encuentra en los primeros 6.4 km de su superficie, el 90% a 16 km y el 99% a 32 km. La presión barométrica es de 760 mmHg a nivel del mar y disminuye de forma casi lineal hasta los primeros 5 km de altitud. En la Figura 13.2 se grafica la relación entre la altitud y presión barométrica. La presión disminuye porque, conforme se asciende desde el nivel del mar, la columna de aire sobre la superficie va siendo cada vez menor. Para el ajuste BTPS, los espirómetros suelen requerir la presión barométrica o la altitud local. En la Tabla 13.2 se presentan las presiones atmosféricas (P_{atm}) calculadas a diferentes altitudes, desde el nivel del mar hasta 4,000 m; así como los factores de conversión BTPS para cada altitud (en intervalos de 200 m de altitud) y para diferentes temperaturas ambientales desde 17 hasta 37 grados Celsius.

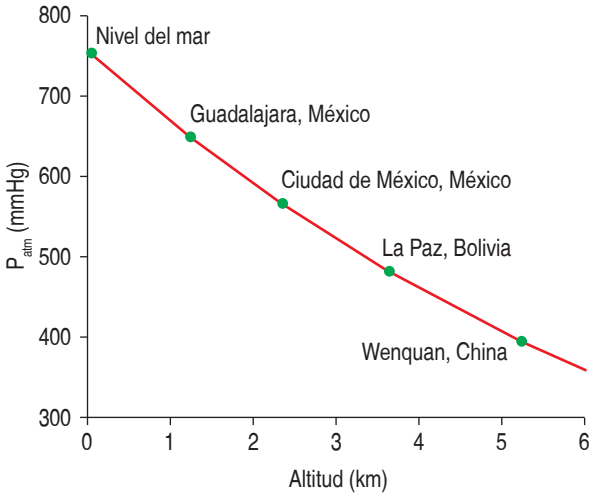


Figura 13.2: Presión atmosférica o barométrica (P_{atm}) calculada de acuerdo con la altitud sobre el nivel del mar. La caída en la presión es casi lineal hasta los primeros 5 km de altura. Se señalan los puntos específicos de algunas ciudades de referencia de altura moderada a gran altitud, como Guadalajara (1,500 m), Ciudad de México (2,240 m y 585 mmHg) y La Paz, Bolivia (3,600 m).

Leyes de los gases

El comportamiento del volumen de un gas ante variables ambientales está definido por las tres leyes de los gases; éstas describen los cambios en el volumen en relación a la presión, la temperatura y la masa del gas.

Ley de Boyle: el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión ($P \propto 1/V$); es decir, a mayor presión, menos volumen. Cambiando $\propto$ por una constante se define $P = k_1 1/V$, donde k_1 es la constante de proporcionalidad. La fórmula se puede simplicar ***aún más como:*** $PV = k_1$. Para que la ley de Boyle se cumpla, se asume que la temperatura y la masa del gas permanecen constantes.

Ley de Charles y de Gay-Lussac: el volumen de un gas es directamente proporcional a la temperatura ($V \propto T$); es decir, a mayor temperatura, mayor volumen. Cambiando $\propto$ por una constante se define $V = k_2 V$, donde k_2 es la constante de proporcionalidad. La fórmula se

www.neumotrauma.org.mx

Tabla 13.2. Factores de conversión BTPS ajustados por altitud y temperatura ambiental.

Altitud (m)	P_{atm} (mmHg)	Temperatura ambiental en grados Celsius																				
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
0	760	1.114	1.110	1.106	1.103	1.099	1.095	1.091	1.088	1.084	1.080	1.077	1.073	1.070	1.066	1.063	1.059	1.056	1.052	1.049	1.045	1.042
200	742	1.115	1.111	1.107	1.104	1.100	1.096	1.092	1.089	1.085	1.082	1.078	1.074	1.071	1.067	1.064	1.060	1.057	1.053	1.050	1.047	1.043
400	725	1.116	1.112	1.109	1.105	1.101	1.097	1.094	1.090	1.086	1.083	1.079	1.075	1.072	1.068	1.065	1.061	1.058	1.054	1.051	1.048	1.044
600	708	1.117	1.114	1.110	1.106	1.102	1.099	1.095	1.091	1.087	1.084	1.080	1.077	1.073	1.070	1.066	1.063	1.059	1.056	1.052	1.049	1.045
800	692	1.119	1.115	1.111	1.107	1.103	1.100	1.096	1.092	1.089	1.085	1.081	1.078	1.074	1.071	1.067	1.064	1.060	1.057	1.053	1.050	1.047
1,000	676	1.120	1.116	1.112	1.109	1.105	1.101	1.097	1.094	1.090	1.086	1.083	1.079	1.075	1.072	1.068	1.065	1.061	1.058	1.055	1.051	1.048
1,200	660	1.121	1.117	1.114	1.110	1.106	1.102	1.099	1.095	1.091	1.088	1.084	1.080	1.077	1.073	1.070	1.066	1.063	1.059	1.056	1.052	1.049
1,400	644	1.123	1.119	1.115	1.111	1.107	1.104	1.100	1.096	1.093	1.089	1.085	1.082	1.078	1.074	1.071	1.067	1.064	1.060	1.057	1.054	1.050
1,600	629	1.124	1.120	1.116	1.113	1.109	1.105	1.101	1.098	1.094	1.090	1.087	1.083	1.079	1.076	1.072	1.069	1.065	1.062	1.058	1.055	1.052
1,800	615	1.125	1.122	1.118	1.114	1.110	1.106	1.103	1.099	1.095	1.092	1.088	1.084	1.081	1.077	1.074	1.070	1.067	1.063	1.060	1.056	1.053
2,000	600	1.127	1.123	1.119	1.115	1.112	1.108	1.104	1.100	1.097	1.093	1.089	1.086	1.082	1.079	1.075	1.071	1.068	1.065	1.061	1.058	1.054
2,200	586	1.128	1.125	1.121	1.117	1.113	1.109	1.106	1.102	1.098	1.094	1.091	1.087	1.084	1.080	1.076	1.073	1.069	1.066	1.062	1.059	1.056
2,400	573	1.130	1.126	1.122	1.118	1.115	1.111	1.107	1.103	1.100	1.096	1.092	1.089	1.085	1.081	1.078	1.074	1.071	1.067	1.064	1.060	1.057
2,600	559	1.132	1.128	1.124	1.120	1.116	1.112	1.109	1.105	1.101	1.097	1.094	1.090	1.087	1.083	1.079	1.076	1.072	1.069	1.065	1.062	1.059
2,800	546	1.133	1.129	1.125	1.122	1.118	1.114	1.110	1.106	1.103	1.099	1.095	1.092	1.088	1.085	1.081	1.077	1.074	1.070	1.067	1.064	1.060
3,000	534	1.135	1.131	1.127	1.123	1.119	1.116	1.112	1.108	1.104	1.101	1.097	1.093	1.090	1.086	1.083	1.079	1.076	1.072	1.069	1.065	1.062
3,200	521	1.137	1.133	1.129	1.125	1.121	1.117	1.114	1.110	1.106	1.102	1.099	1.095	1.091	1.088	1.084	1.081	1.077	1.074	1.070	1.067	1.063
3,400	509	1.138	1.134	1.131	1.127	1.123	1.119	1.115	1.112	1.108	1.104	1.100	1.097	1.093	1.090	1.086	1.082	1.079	1.075	1.072	1.068	1.065
3,600	497	1.140	1.136	1.132	1.129	1.125	1.121	1.117	1.113	1.110	1.106	1.102	1.099	1.095	1.091	1.088	1.084	1.081	1.077	1.074	1.070	1.067
3,800	486	1.142	1.138	1.134	1.130	1.127	1.123	1.119	1.115	1.111	1.108	1.104	1.100	1.097	1.093	1.089	1.086	1.082	1.079	1.075	1.072	1.068
4,000	474	1.144	1.140	1.136	1.132	1.128	1.125	1.121	1.117	1.113	1.110	1.106	1.102	1.099	1.095	1.091	1.088	1.084	1.081	1.077	1.074	1.070

La altitud es en metros sobre el nivel del mar y la presión atmosférica corresponde a la estimada por altitud.

puede simplicar ***aún más como:*** $V/T = k_2$. Para que esta ley se cumpla, asume que la presión y la masa del gas permanecen constantes.

Ley de Avogadro: el volumen de un gas es directamente proporcional a su masa ($V \propto n$); es decir, a mayor masa, mayor volumen. Como la masa del gas suele permanecer constante, esta variable suele eliminarse en los cálculos de volumen.

Ley de gas ideal: las tres leyes de los gases se pueden combinar en una ecuación maestra que permite predecir el comportamiento de los gases. Esta ecuación se denomina ecuación general de los gases o ley de gas ideal y puede resumirse de la siguiente forma:

$$V \alpha (nT)/P \text{ o } V = R\,(nT)/P$$
$$\text{o } PV = nRT \text{ o } R = PV/nT$$

Donde R es la constante de proporcionalidad de la ecuación de gas ideal. Esta ecuación describe que el volumen de un gas es directamente proporcional a su masa y temperatura e inversamente proporcional a la presión. Para predecir el cambio de un gas con respecto a cambios en algunas variables, se puede trabajar con una forma modificada de la ecuación que describe entre estado inicial y final del gas:

Estado inicial	Estado final
$R = P_1V_1/n_1T_1$	$R = P_2V_2/n_2T_2$

Se pueden eliminar la constante de proporcionalidad R y la masa (n), ya que permanecen constantes. Así, la ecuación puede simplificarse como:

$$P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$$

Esta ecuación es muy importante porque es la que se puede utilizar para calcular los cambios de volumen cuando cambia la presión y la temperatura, tal como sucede en la espirometría. La fórmula a utilizar será:

$$V_2 = V_1\,(T_2P_1)/(T_1P_2)$$

Si la condición inicial es el volumen medido por el espirómetro (ATPS) y queremos usar la ecuación del gas ideal para calcular el volumen original (condición final o volumen pulmonar) del gas en los pulmones del individuo (BTPS), estas variables se pueden sustituir fácilmente:

$$V_{BTPS} = V_{ATPS}\,(T_{BTPS}P_{ATPS})/(T_{ATPS}P_{BTPS})$$

La relación $(T_{BTPS}P_{ATPS})/(T_{ATPS}P_{BTPS})$ de esta fórmula se denomina factor BTPS y se multiplica por el V_{ATPS} o volumen medido por el espirómetro (FVC y FEV_1) para ajustar los volúmenes al original en el pulmón (V_{BTPS}). Definiendo las condiciones iniciales o volumen conocido (medido por el espirómetro) y las condiciones finales o volumen no conocido (volumen pulmonar), estos parámetros quedarían de la siguiente forma:

www.medigraphic.org.mx

Condición inicial

V_{ATPS} = Volumen medido por el espirómetro (FVC o FEV_1).

T_{ATPS} = Temperatura del espirómetro o ambiental.
P_{ATPS} = Presión del espirómetro (igual a la atmosférica).

Condición final

VBTPS = Volumen pulmonar (FVC o FEV_1, que se desconocen).
TBTPS = Temperatura corporal (37 °C).
PBTPS = Presión pulmonar (igual a la atmosférica).

Para los cálculos espirométricos se usa la presión atmosférica promedio del sitio donde se hace la espirometría en mmHg; por ejemplo, 760 mmHg a nivel del mar y 583 mmHg en la Ciudad de México. La temperatura se ajusta a grados kelvin (grados Celsius + 273); de tal suerte que la temperatura corporal sería 310 grados kelvin y si la temperatura ambiente es de 20 °C, entonces se cambia a 293 grados kelvin (K). En suma, las variables usadas para la conversión BTPS a nivel del mar y en la ciudad de México a una temperatura ambiente de 20 °C quedarían de la siguiente forma:

Nivel del mar

T_{ATPS} = 20 + 273 = 293 °K
T_{BTPS} = 37 + 273 = 310 °K
P_{ATPS} = 760 - 17 = 743 mmHg
P_{BTPS} = 760 - 47 = 713 mmHg
$V_{BTPS} = V_{ATPS} (T_{BTPS}P_{ATPS})/(T_{ATPS}P_{BTPS})$
$V_{BTPS} = V_{ATPS} (310*743)/(293*713)$
$V_{BTPS} = V_{ATPS} * 1.103$

Ciudad de México (2,240 m)

T_{ATPS} = 20 + 273 = 293 °K
T_{BTPS} = 20 + 273 = 310 °K
P_{ATPS} = 583 - 17 = 566 mmHg
P_{BTPS} = 583 - 47 = 536 mmHg
$V_{BTPS} = V_{ATPS} (310*566)/(293*536)$
$V_{BTPS} = V_{ATPS} * 1.117$

En estas condiciones, los valores de 1.103 y 1.117 son los factores BTPS para 20 °C y para el nivel del mar y la altitud de la Ciudad de México, respetivamente. Si la FVC medida por el espirómetro es de 3.00 L, entonces el ajuste BTPS quedaría de la siguiente forma:

Nivel del mar

$V_{BTPS} = 3.00\ L * 1.103 = 3.31\ L$
$FVC = 3.31\ L$

Ciudad de México (2,240 m)

V_{BTPS} = 3.00 L * 1.117 =3.35 L
FVC = 3.35 L

En la Tabla 13.2, se muestran los factores BTPS para el nivel del mar y para la Ciudad de México y para temperatura ambiente desde 18 hasta 37 °C, que se podrían hacer para ajustes BTPS manuales. Sin embargo, en los espirómetros de volumen modernos y computarizados, sólo hay que ajustar la temperatura ambiental y la presión barométrica para que los ajustes se hagan de forma automatizada.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

14

Interpretación de la espirometría en 10 pasos.

Competencias fundamentales

1. Comprende el fundamento fisiológico y fisiopatológico

¿Sabes qué mide la espirometría?

La espirometría es una prueba de función pulmonar mecánica que permite medir volúmenes y flujos pulmonares; por lo tanto, es una prueba que mide el patrón ventilatorio del pulmón. El principal volumen que se puede medir es la capacidad vital forzada (FVC), que representa el máximo volumen de aire que se puede exhalar con máximo esfuerzo después de una inspiración máxima (Figura 14.1). Debido a que la espirometría sólo mide el volumen de aire que se desplaza durante la exhalación (volumen ventilado), no permite medir el volumen de aire que se queda en el tórax después de una máxima exhalación; este volumen se llama volumen residual. La espirometría tampoco brinda información sobre la función primaria del pulmón, que es el intercambio gaseoso. Otras pruebas, como la difusión pulmonar de monóxido de carbono (DLCO), son complementarias para esta finalidad.

La FVC es una buena medida del tamaño pulmonar (FVC), debido a que aproximadamente el 80% del volumen de los pulmones totalmente inflados es aire. Otros parámetros que se miden con la espirometría son los flujos espiratorios. Un flujo equivale a la aceleración

www.medigraphic.org.mx

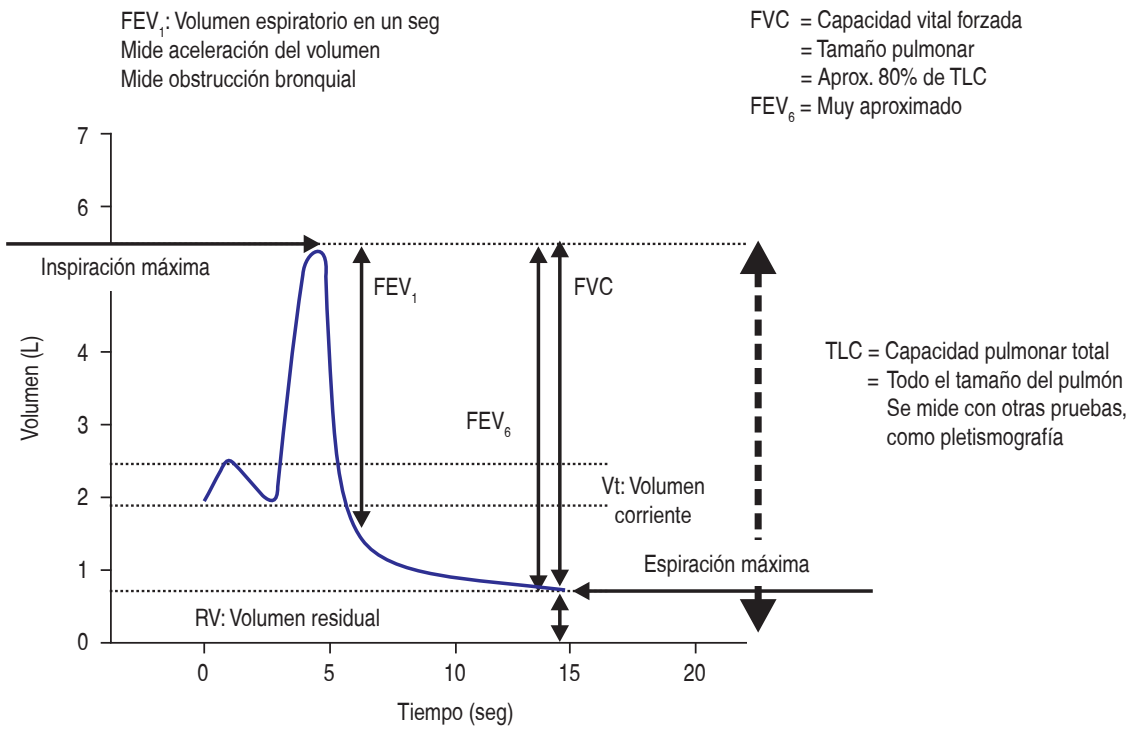


Figura 14.1: Espirograma que muestra los principales flujos y volúmenes pulmonares. La espirometría permite medir el máximo volumen de aire que puede exhalarse después de una inspiración máxima (FVC) y la aceleración con que pueden movilizarse estos volúmenes (flujos). El FEV_1 y el cociente (FEV_1/FVC) son los parámetros que se utilizan para medir la obstrucción al flujo aéreo. La espirometría no permite medir el volumen residual (RV) y tampoco la capacidad pulmonar total (TLC).

del volumen y se expresa como volumen por tiempo. El principal flujo de la espirometría es el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV_1). Los flujos espiratorios están principalmente determinados por el diámetro de los conductos respiratorios o bronquios, así que cuando el flujo está disminuido, es un indicador de obstrucción al flujo aéreo.

2. Interpreta apropiadamente las gráficas de la espirometría

¿Sabes interpretar las gráficas de flujo-volumen y de volumen-tiempo?

La interpretación de la espirometría siempre debe iniciar con la evaluación de las gráficas de flujo-volumen (FV) y de volumen-tiempo (VT) (Capítulos 10 y 11). La mayor utilidad de estas gráficas es valorar la calidad técnica de las maniobras espiratorias que realizó el sujeto o paciente; de esta forma, se corrobora el cumplimiento del estándar internacional de calidad

www.medigraphic.org.mx

(ATS/ERS 2005). En la gráfica de FV se evalúa el inicio de la exhalación y sus criterios de buena calidad son: 1) forma triangular, 2) ascenso inicial casi vertical, 3) generación de vértice o flujo pico (PEF), y 4) libre de artefactos. La gráfica VT describe principalmente el término de la exhalación y sus criterios de buena calidad son: 1) ascenso inicial casi vertical, 2) duración de más de seis segundos en personas de 10 años o más y de al menos tres segundos en niños menores de 10 años, 3) meseta de terminación de un segundo (sin cambio en volumen), y 4) ausencia de artefactos. Asimismo, la morfología de algunas gráficas orienta el patrón ventilatorio (obstructivo o restrictivo) o incluso pueden ser diagnósticas de algunas patologías obstructivas como la obstrucción de la vía aérea de grueso calibre (Figura 14.2).

3. Define los principales parámetros espirométricos

¿Sabes qué parámetros de la espirometría se deben interpretar?

Con frecuencia, el reporte de espirometría puede incluir un número muy grande de parámetros, principalmente flujos, que en su mayoría son redundantes y menos reproducibles. Para el proceso de interpretación, es muy importante que el responsable se enfoque en los valores más confiables, que son los más repetibles y reproducibles. Estos valores son la FVC, definida como el mayor volumen de aire ventilado con máximo esfuerzo y después de una inspiración máxima; el FEV_1, como el volumen de aire exhalado al primer segundo

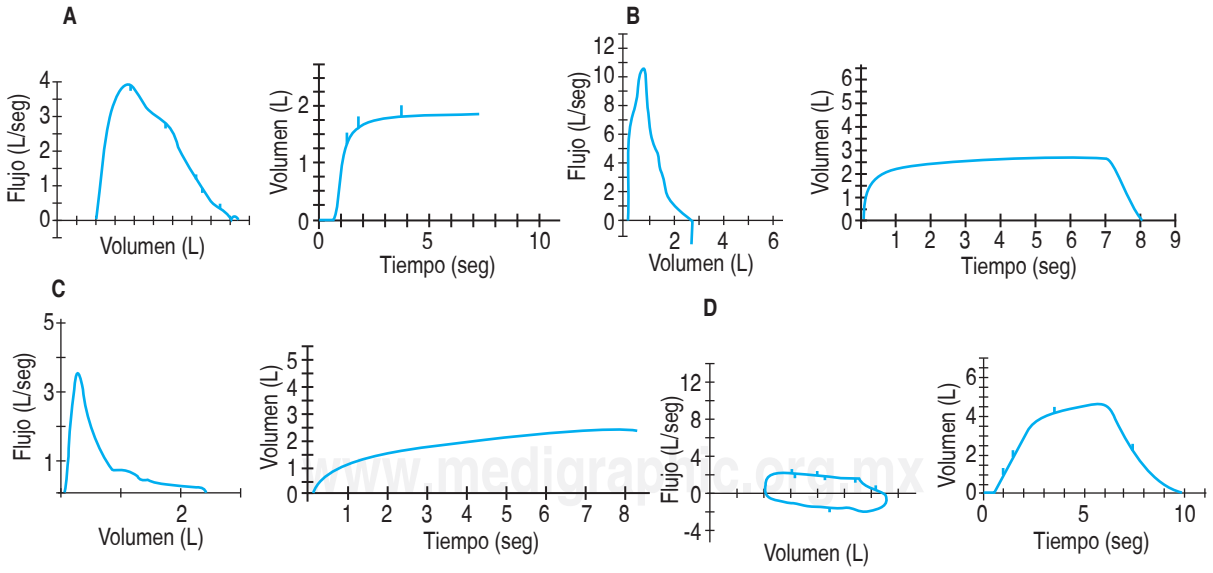


Figura 14.2: Gráficas de flujo-volumen y de volumen-tiempo características de diferentes patrones ventilatorios: normal **(A)**, restrictivo **(B)**, obstructivo **(C)** y obstrucción de vía aérea de grueso calibre **(D)** que corresponde a una estenosis traqueal.

de la maniobra de FVC; el cociente (FEV_1/FVC), que define la proporción de la capacidad vital que se exhala durante el primer segundo de la maniobra y que representa un índice de vaciamiento de aire del pulmón, por lo que resulta el parámetro definitorio de obstrucción al flujo de aire.

Alternativamente, se puede usar el FEV_6 como un sustituto de la FVC. En este contexto, la interpretación se debe enfocar en los valores FEV_1, FEV_6 y FEV_1/FEV_6, con el ajuste de ecuaciones de referencia apropiadas para estos parámetros. Asimismo, se debe corroborar que el reporte de la prueba cuente con la información suficiente que permita valorar la calidad técnica y su interpretación adecuada. La información más importante es: los datos de identificación del paciente o sujeto que completó el estudio, los parámetros antropométricos (peso y estatura), el origen de la ecuación con que se calculan los valores de referencia, los principales valores espirométricos y las gráficas de FV y VT.

4. Gradúa la calidad técnica de la espirometría

¿Sabes cuál es el grado de calidad de la prueba?

Graduar la calidad técnica de la espirometría es una forma práctica de resumir qué tan bien fue hecha la prueba; por lo tanto, describe el nivel de confiabilidad técnica para el diagnóstico espirométrico. Establecer un grado de calidad es un proceso frecuente e incluso automatizado por muchos espirómetros; sin embargo, no es un estándar internacional. La graduación de calidad se establece de acuerdo con los criterios de aceptabilidad de las maniobras de FVC y a la repetibilidad de las mismas. En la Tabla 14.1 se describen los seis grados de calidad que proponemos y que se denominan con las letras A a la F. El grado A corresponde a una prueba que cumple el estándar internacional de tres maniobras de FVC aceptables y con repetibilidad menor a 0.15 L para los valores de FVC y FEV_1, lo que se puede

Tabla 14.1: Grados de calidad técnica de la espirometría.

Grado	Maniobras aceptables	Repetibilidad (FVC y FEV_1)	Interpretación de calidad
A	3	< 0.15 L	Técnicamente muy confiable (estándar internacional ATS/ERS 205)
B	3	< 0.20 L	Técnicamente confiable
C	2	< 0.20 L	Suficientemente confiable
D	2	> 0.20 L	Aceptable pero variable
E	1		Inadecuada
F	0		Inadecuada

considerar como una prueba técnicamente muy confiable para la interpretación. El grado B corresponde a tres maniobras aceptables y repetibles en menos de 0.20 L (estándar ATS 1995) y se considera confiable para la interpretación. Dos maniobras aceptables y repetibles en menos de 0.20 L, grado C, sería la menor calidad suficientemente confiable. Los grados de calidad D, E, y F deben interpretarse con reservas, ya que los resultados pueden ser no confiables.

5. Define adecuadamente los valores predichos

¿Sabes qué significan los valores normales o predichos?

Si describimos a un hombre de 70 kg y 1.70 m, de estatura es fácil imaginar su constitución, incluso se puede afirmar que se trata de un hombre de peso y estatura "normal" o promedio. Sin embargo, si para un individuo describimos una FVC de 4.00 L y un FEV_1 de 3.00 L, es difícil decir si éstos son valores "normales". Para definir "normalidad" en una espirometría es necesario contar con un comparativo. Este comparativo son los valores de referencia, también llamados normales, predichos, teóricos o consignados. Los valores "normales" son estimaciones matemáticas que describen un valor promedio de FVC o FEV_1 que corresponden a un individuo de acuerdo a la estatura, sexo y edad.

De acuerdo al ejemplo de la Figura 14.3, que describe a un hombre de 39 años y estatura de 1.82 m, quien tiene una FVC promedio (tamaño pulmonar) de 5.51 L, si el mejor valor obtenido de FVC durante la espirometría de este individuo es 5.11 L, podemos decir que su tamaño pulmonar corresponde a un 93% [(5.11/5.51)*100] del valor predicho.

La mayoría de los valores predichos han sido generados de estudios con base poblacional que incluyen cientos o miles de participantes, generalmente sanos y no fumadores. Claramente, se han encontrado diferencias raciales y poblacionales, por lo que conviene saber de dónde provienen estos valores y si es recomendable que sean usados en la población de estudio. Los mejores valores de referencia son aquéllos que corresponden a la misma población y que fueron realizados con equipo y procedimientos similares. En la Tabla 14.2 se muestran las ecuaciones de referencia más comúnmente disponibles en los espirómetros, así como las más recientes, generadas en México y Latinoamérica. Los valores de referencia del estudio de salud nutricional de los Estados Unidos de América (NHANES III) incluyen población México-Americana de ocho a 80 años de edad. Otras ecuaciones de referencia recomendadas son las mexicanas descritas por el Dr. Pérez Padilla y cols. y las del estudio PLATINO para mayores de 40 años.

6. Define apropiadamente el concepto de normalidad

www.medigraphic.org.mx

¿Sabes qué significa espirometría normal?

Existen muchas definiciones de normalidad; una definición popular es lo común, lo que

	Mejor valor	Predicho	% del predicho
FVC	5.11 L	5.51 L	93
FEV_1	4.11 L	4.45 L	92
FEV_1/FVC	80%	82%	98

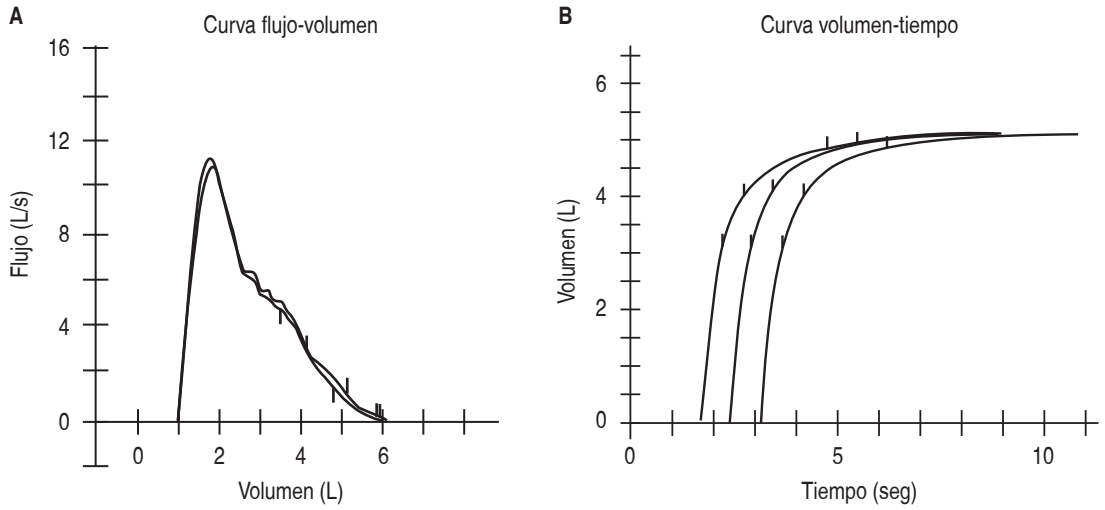


Figura 14.3: Espirometría normal de un hombre de 39 años de edad y 1.82 m de estatura. Se presentan los mejores valores obtenidos de FVC y FEV_1 de las tres maniobras. Los valores predichos representan un valor promedio para el sexo, edad y estatura.

Tabla 14.2: Ecuaciones de referencia normal.

Ecuación	País	Año	¿Recomendable?
NHANES III (Hankinson JL, et al. 1999) (México-Americanos)	EUA	1999	✓✓✓
INER (Pérez-Padilla JR, et al. 2001) (RPP)	México	2001	✓✓✓
PLATINO (Pérez-Padilla R, et al. 2007) (> 40 años)	Latinoamérica	2005	✓✓✓
HAP (Regalado-Pineda JR, et al. 2005) (JRP)	México	2005	✓
GLI (Quanjer PH, et al. 2012)	Multinacional	2012	✓✓
Crapo (Crapo R, et al. 1981)	EUA	1981	✓
Knudson (Knudson)	EUA	1983	×
Coultas (Coultas D, et al. 1988)	EUA	1988	××
Quanjer (Quanjer PH, et al. 1993)	EUA	1993	××

predomina, lo más frecuente o lo más deseado. La definición clínica de normalidad es: variaciones dentro de límites de buena salud que, además, excluye enfermedad. En espirometría, la definición de normalidad es epidemiológica o estadística, la cual describe una distribución específica en torno a una tendencia central. Para explicar esto usaremos el ejemplo de la estatura. La Figura 14.4 es una representación esquemática de la distribución de la estatura de una población masculina. Esta distribución sigue una forma de campana, que también se le conoce como distribución gaussiana o distribución normal. La característica principal de esta distribución es que la mayor parte de los individuos se concentran hacia un valor central que corresponde al valor promedio. El promedio o media estadística es el mismo valor que la mediana (el valor central de la distribución) y la moda (el valor que más se repite); estos parámetros son las medidas de tendencia central. En una variable con distribución normal, además de las medidas de tendencia central, se usan medidas de dispersión, que describen qué tanto se alejan el resto de los valores del promedio. Una de las más usadas es la desviación estándar (DE). En una distribución gaussiana, una DE abarca el 64% de la población en torno al promedio y 2 DE abarcan el 95% (Figura 14.4). Comúnmente, se establece que los valores normales son los que se encuentran dentro de este 95% de la población; es decir, el promedio y 2 DE en torno al mismo. El 5% restante (2.5% inferior y 2.5% superior) se considera valores extremos, los cuales son poco frecuentes, pero no son necesariamente anormales.

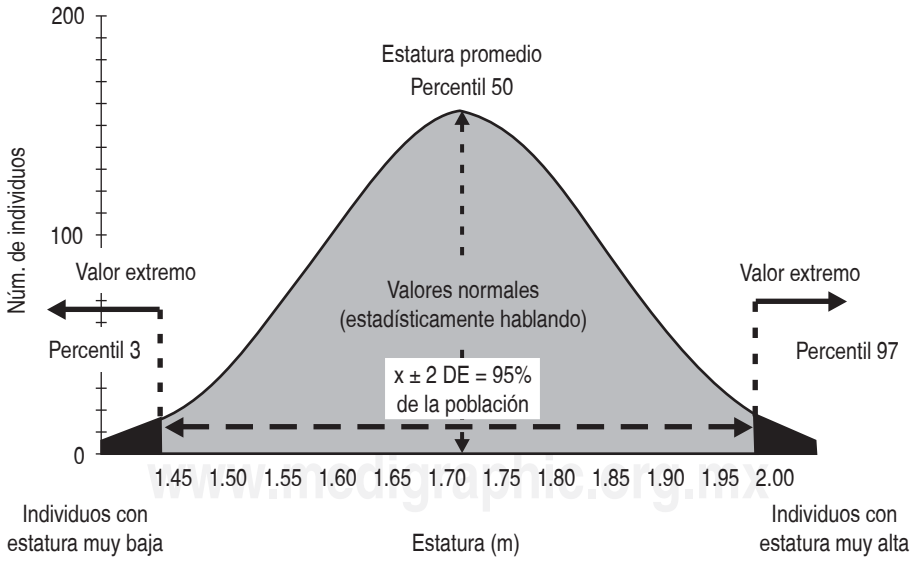


Figura 14.4: Ilustración esquemática de la distribución estadística de la estatura en hombres. La forma de la distribución es normal, también llamada normal o campana de Gauss.

Para describir la distribución de la estatura, también podríamos utilizar percentiles. Como su nombre lo indica, cada percentil representa el valor correspondiente a un porcentaje de la población. Por ejemplo, en 100 individuos ordenados por estatura, el individuo con estatura más baja será el percentil 1 y el más alto el percentil 100. Cuando la distribución es normal, el promedio corresponde al percentil 50. Comúnmente, pero de forma arbitraria, se usan los percentiles 3 o 5 como el límite inferior de normalidad (LIN) y las 95 o 97 como el límite superior de normalidad (LSN).

El FEV_1 y la FVC se distribuyen de manera normal o gaussiana, ya que la estatura es el principal determinante del tamaño pulmonar (Figura 14.5). En espirometría, se usa el percentil 5 como LIN, que por definición separa al 5% de la población con valores más bajos. En este contexto, no importa qué tan normal es la población estudiada, siempre existe un 5% de individuos con valores espirométricos bajos y que no necesariamente son anormales, sino valores extremos por debajo del LIN establecido.

Cuando interpretamos una espirometría, el proceso general busca definir si ésta es "normal" o muestra valores bajos o < LIN. De forma tradicional, en espirometría se usa el 80% del predicho como LIN para la FVC y el FEV_1, ya que este punto de corte es fácil de recordar y suele ser un valor cercano al percentil 5, siempre y cuando se usen ecuaciones de referencia apropiadas (Tabla 14.3). Sin embargo, algunas ecuaciones externas, generalmente ya muy antiguas, como Knudson, Coultas o Quanjer, muestran diferencias de cinco a 10 puntos porcentuales entre el 80% del predicho y el percentil 5. Por ejemplo, si se usara la ecuación de Quanjer para definir

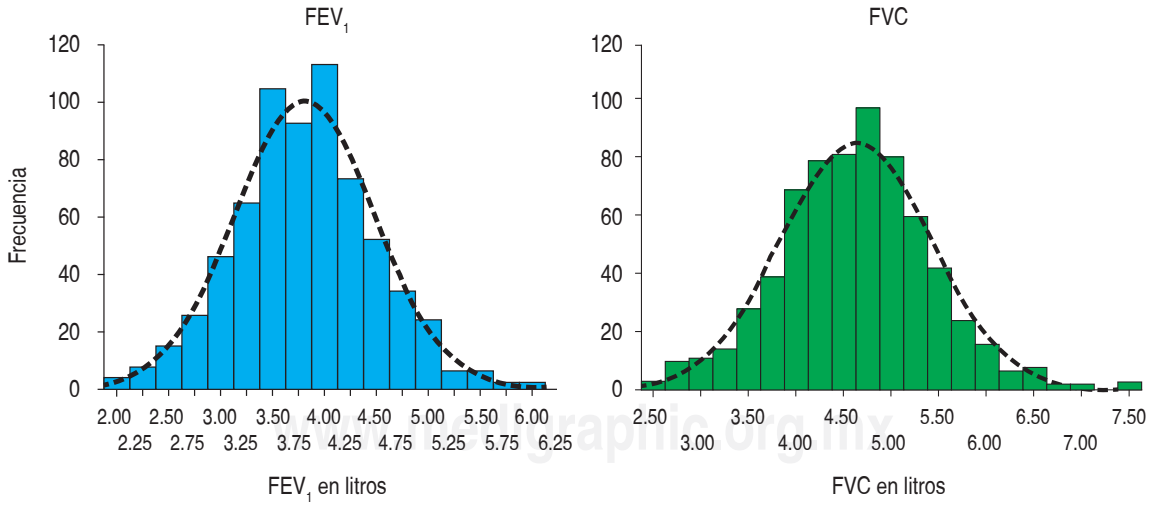


Figura 14.5: Ejemplo real de distribución normal o gaussiana. Se muestra la distribución estadística de la FVC y del FEV_1 en 675 hombres adultos de la Ciudad de México.

el límite inferior de normalidad para la FVC, las personas de sexo masculino deben estar arriba de 89% del predicho para decir que rebasan el LIN.

La interpretación del cociente FEV_1/FVC, parámetro definitorio de obstrucción al flujo de aire, se hace directamente con el valor absoluto (FEV_1/FVC*100). Algunas guías clínicas, como las guías GOLD para EPOC, han establecido un valor fijo de 70% como LIN del cociente FEV_1/FVC y como definición de obstrucción al flujo aéreo en adultos. Sin embargo, como puede observarse en la Figura 14.6, el cociente FEV_1/FVC disminuye progresivamente con la edad, producto de la disminución de las propiedades elásticas del pulmón. Por consiguiente, el punto de corte dicotómico de 70% es sólo válido hasta aproximadamente los 50 años de edad, puede producir falsos negativos de obstrucción en jóvenes y falsos positivos en personas mayores de 50 años. En la Tabla 14.4 se muestran los valores del cociente FEV_1/FVC, que se pueden usar como LIN por década de la vida desde los 40 años. Una forma sencilla de recordarlo es que el valor de 70% es aplicable como LIN hasta los 50 años y disminuye aproximadamente dos puntos porcentuales por década de la vida; de tal suerte que el LIN sería alrededor de los 68% a los 50, de 66% a los 60, 64% a los 70 y 62% a los 80.

Un LIN bien definido discrimina mejor entre sanos y enfermos, aunque siempre habrá una proporción de sujetos sanos que tengan una espirometría baja (5% para LIN equivalente al percentil 5) sin tener enfermedad. Esto se conoce como falsos positivos. De manera similar, existen enfermos que tienen una prueba con valores dentro de límites normales (falsos nega-

Tabla 14.3: Porcentaje del predicho al que corresponde el límite inferior de normalidad (percentil 5) de acuerdo a varias ecuaciones de referencia.

	FEV_1		FVC	
Ecuación	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Pérez Padilla	78	83	81	82
Regalado	82	84	82	81
NHANES III	79	81	81	82
Crapo	80	85	81	83
Knudson	85	85	85	87
Coultas	86	89	85	89
Quanjer	87	87	89	89

* Puede cambiar con estatura o edad, aunque el promedio sea, por ejemplo, el 80% en todas las estaturas y edades estudiadas.

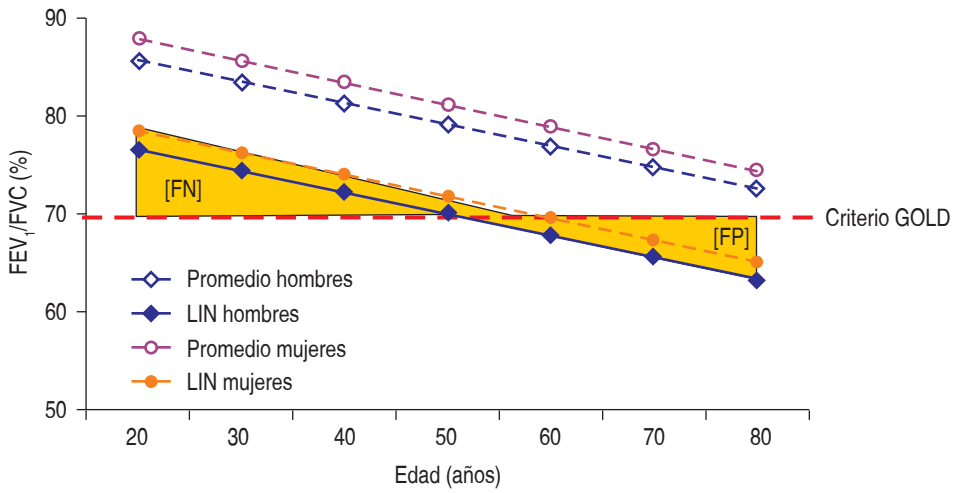


Figura 14.6: La gráfica muestra los valores promedio (líneas cortadas) y de límite inferior de la normalidad (LIN, en líneas continuas) para el cociente FEV_1/FVC correspondientes a hombres y mujeres. El cociente disminuye progresivamente con la edad; en contraste, un valor dicotómico fijo en 70% usado por las guías GOLD para el diagnóstico de obstrucción al flujo de aire puede generar falsos negativos en jóvenes y falsos positivos en personas mayores de 50 años.

Tabla 14.4: Límite inferior normal del cociente FEV_1/FVC.

	FEV_1/FVC (%)	
Década de la vida	Mujeres	Hombres
40	72	70
50	70	68
60	67	66
70	65	64
80	63	62

tivos; Figura 14.7). Dentro de las estrategias de interpretación, siempre es importante recordar que la mayor parte de la proporción de falsos positivos y negativos se encuentran en torno al LIN del FEV_1 o FVC. Bajo estas circunstancias, el responsable de la interpretación debe ser siempre cuidadoso con los valores limítrofes (Figura 14.8). En contraste, cuanto más alejado es el resultado de la espirometría del LIN, ya sea porque es muy baja o francamente normal, la certeza en la interpretación será mucho mayor.

7. Define correctamente los patrones ventilatorios

¿Sabes cuáles son los patrones ventilatorios?

La interpretación de las principales pruebas de función respiratoria también ha sido internacionalmente estandarizada. Para ello, se han integrado secuencialmente la espirometría y una prueba de volumen pulmonar que permi-

www.medigraphic.org.mx

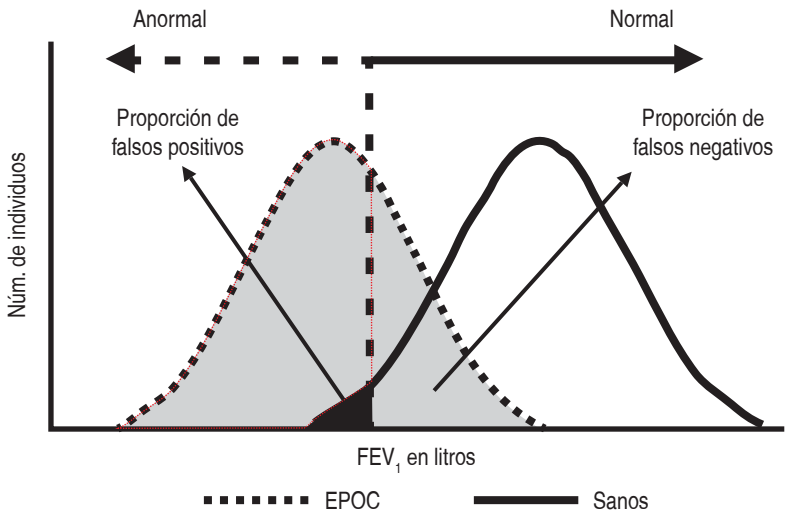
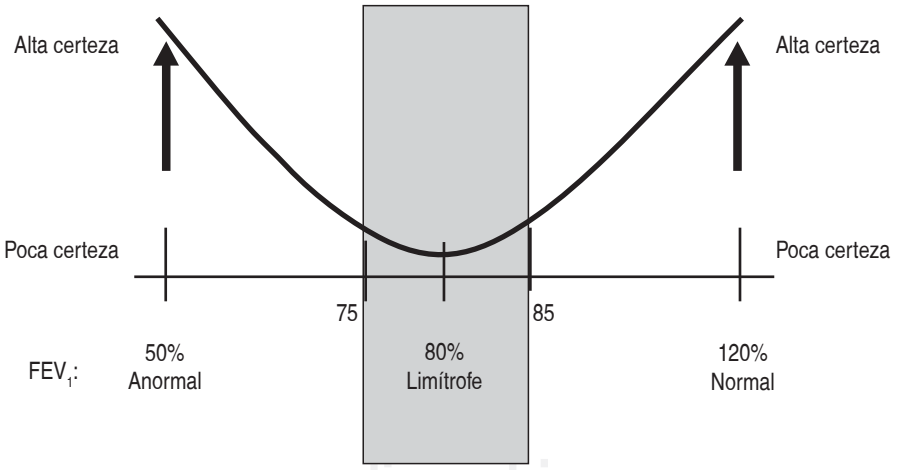


Figura 14.7: Ilustración de cómo se distribuye el FEV_1 en personas sanas y enfermas (EPOC). De acuerdo con la definición estadística de normalidad, siempre existe una proporción de individuos sanos con FEV_1 bajo (5% que corresponde al percentil 5) y que se denominan falsos positivos. Asimismo, hay una proporción de individuos enfermos que pueden tener espirometría normal (falsos negativos).



www.medigraphic.org.mx

Figura 14.8: La certeza en la interpretación de la espirometría es mayor cuando los resultados se separan de límite inferior de normalidad (ilustrado como el 80% del predicho) y sus valores limítrofes. Dentro de los valores limítrofes se encuentra la mayor proporción de falsos positivos y negativos.

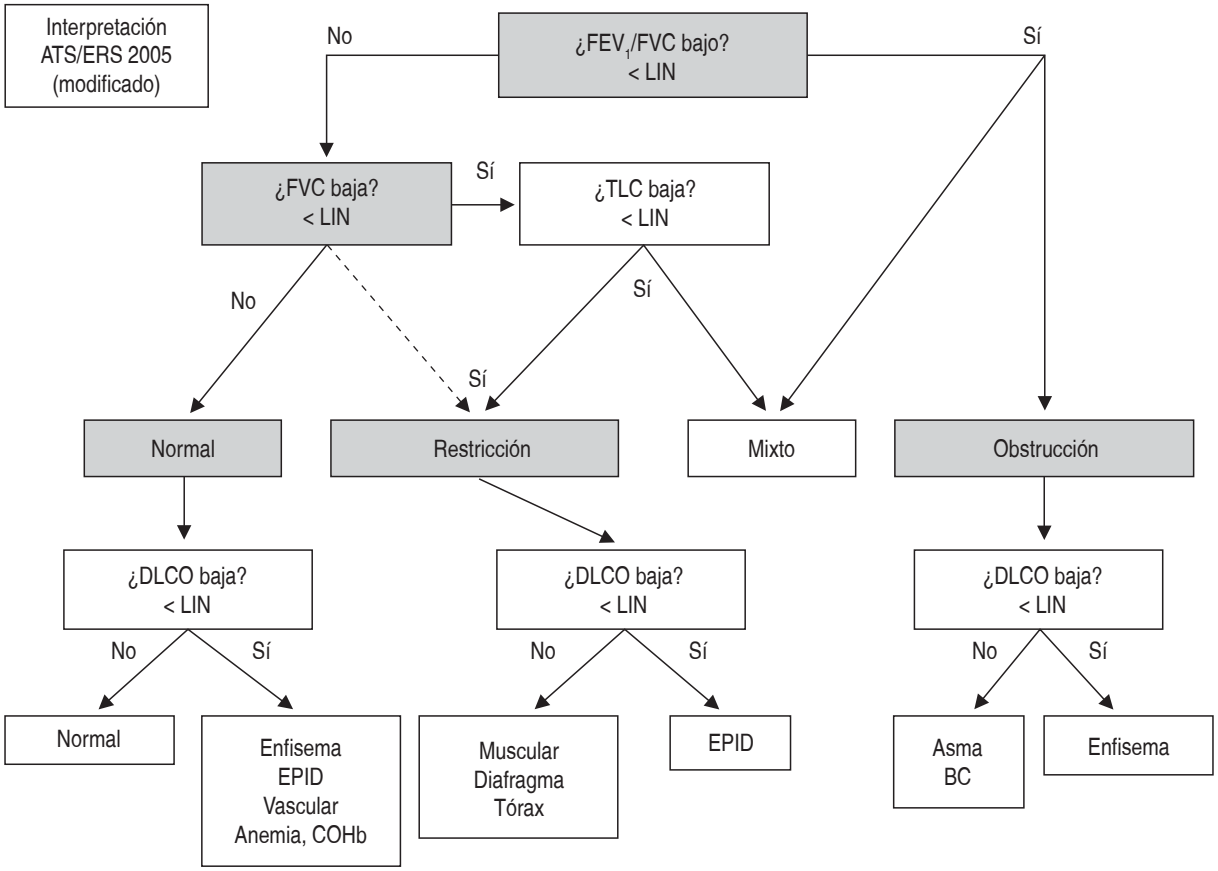


Figura 14.9: Diagrama que ilustra el proceso de evaluación e interpretación de las pruebas de función respiratoria. Este proceso sigue las recomendaciones de la Sociedad Americana del Tórax y de la Sociedad Europea Respiratoria (ATS/ERS 2005) con algunas modificaciones por los autores, con fines didácticos y sin cambiar los criterios definitorios de los patrones ventilatorios. El proceso siempre inicia con la espirometría (cuadros sombreados) evaluando la relación FEV_1/FVC, esto permite definir como estándar de oro la obstrucción al flujo de aire con base en una relación FEV_1/FVC baja, inferior al límite inferior normal (LIN). En caso de no existir obstrucción, si la FVC es normal (> LIN o > 80%), se puede concluir que el patrón ventilatorio es normal. Si no existe obstrucción, pero la FVC es baja, la prueba es sugestiva o compatible con restricción pulmonar, pero el estándar de oro de restricción es una capacidad pulmonar total (TLC) disminuida. Para diagnosticar un patrón ventilatorio mixto (obstrucción y restricción pulmonar) se requiere demostrar una relación FEV_1/FVC baja y una TLC baja, por lo que sólo puede ser determinado con la combinación de espirometría y una prueba de medición de volúmenes pulmonares, como la pletismografía corporal. Después de definir el patrón ventilatorio, el proceso continúa con la evaluación del intercambio gaseoso o de oxigenación por medio de la prueba de difusión pulmonar de monóxido de carbono (DLCO). El conocimiento integral del patrón ventilatorio y de la oxigenación permite hacer discriminación diagnóstica de algunas enfermedades (parte inferior del diagrama), que incluyen enfermedad pulmonar intersticial difusa (EPID), intoxicación de monóxido de carbono (COHb) y bronquitis crónica (BC).

ten determinar los cuatro patrones ventilatorios o de mecánica respiratoria, que son: 1) normal, 2) restrictivo, 3) obstructivo y 4) mixto (combinación de obstructivo y restrictivo). Con la espirometría es posible identificar con facilidad el patrón normal y el patrón obstructivo; de hecho, es el estándar de oro para el diagnóstico de obstrucción al flujo aéreo. Asimismo, cuando no existe obstrucción, la espirometría es muy confiable para hablar de restricción pulmonar.

Posterior a la determinación del patrón ventilatorio, la valoración funcional respiratoria integra de forma secuencial la medición del intercambio gaseoso por medio de la prueba de difusión pulmonar de monóxido de carbono (DLCO). En la Figura 14.9 se ilustra el diagrama de interpretación de pruebas de función respiratoria de acuerdo con las recomendaciones de la Sociedad Americana del Tórax y de la Sociedad Europea Respiratoria (ATS/ERS 2005) con algunas modificaciones hechas por los autores para fines didácticos y de simplificación, sin cambiar los criterios definitorios de los patrones ventilatorios.

Patrón normal

El patrón normal está definido por una relación FEV_1/FVC arriba del LIN (ausencia de obstrucción al flujo aéreo) y una FVC dentro de límites normales o por arriba del LIN (ausencia de restricción). Como puede observarse en las Figuras 14.9 y 14.10, el proceso de interpretación siempre comienza con la evaluación del cociente FEV_1/FVC (búsqueda de obstrucción). En la Figura 14.11 se muestra un ejemplo de espirometría normal.

Patrón sugestivo de restricción pulmonar

Si el cociente FEV_1/FVC es normal o > LIN (ausencia de obstrucción), pero la FVC es baja, es decir, < 80% o < LIN, la espirometría sugiere o es compatible con restricción pulmonar (Figuras 14.9 y 14.10). El término de restricción se refiere a un volumen pulmonar pequeño (Figura 14.12). Sin embargo, recordemos que la espirometría sólo mide el volumen de aire que se desplaza (Figura 14.13) y no el que permanece dentro del tórax, al final de una espiración forzada (volumen residual). En casos de atrapamiento de aire, como en la obstrucción grave, se puede desplazar poco volumen de aire, sugiriendo erróneamente un pulmón pequeño. En la Figura 14.14 se muestra un ejemplo de una espirometría compatible con restricción pulmonar.

8. Diagnóstica correctamente la obstrucción al flujo aéreo

¿Cómo se diagnóstica la obstrucción al flujo aéreo?

El patrón de obstrucción al flujo de aire está definido siempre que el cociente FEV_1/FVC es bajo, es decir, < LIN (Figura 14.15). Por lo tanto, obstrucción se define como un flujo de aire (FEV_1) disminuido para el mayor volumen

www.medigraphic.org.mx

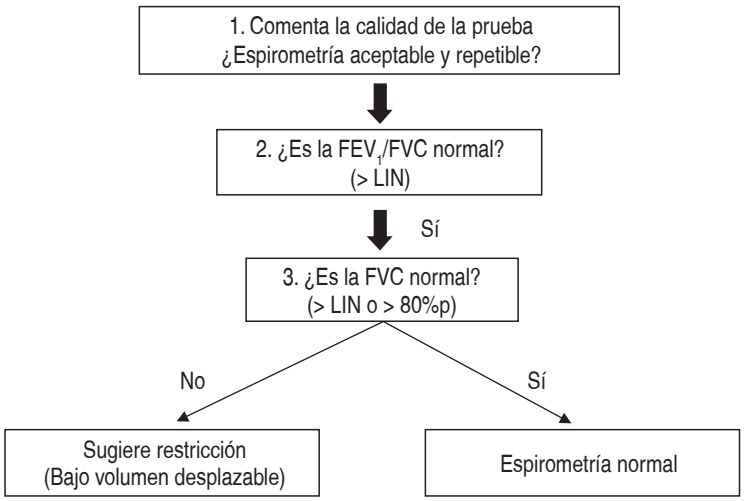
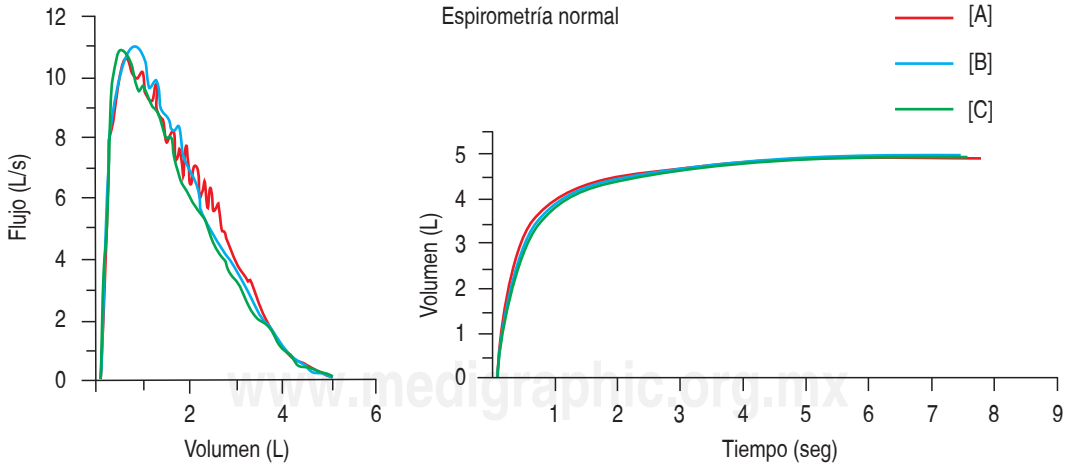


Figura 14.10:

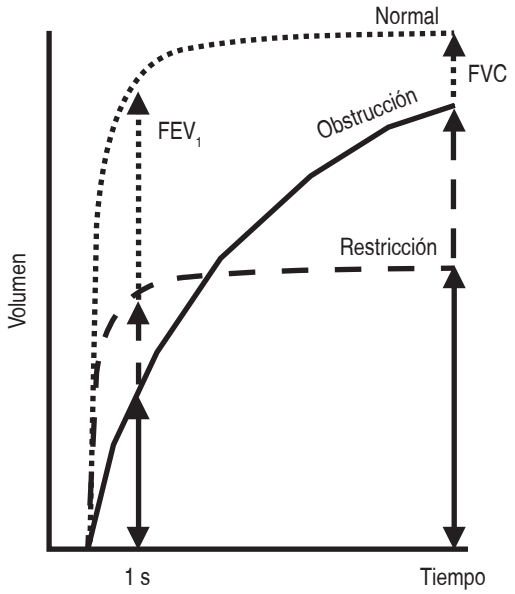
Diagrama de flujo recomendado para determinar si el patrón respiratorio en espirometría es normal o sugestivo de restricción. La interpretación siempre comienza con una valoración de la calidad de la prueba, sigue determinar si la relación FEV_1/FVC es > 70% (normal) y, posteriormente, se determina si la FVC es baja o no.

		Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
Parámetro	Predichos Pérez-Padilla	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	4.99 L	5.00 L	99.8	5.02 L	100.6	5.02 L	106.6
FEV_1	4.00 L	4.02 L	100.5	3.95 L	98.8	3.93 L	98.3
FEV_1/FVC	81.0%	80.5%	99.4	78.8%	97.3	78.3%	98.3
PEF		9.38 L/s		11.4 L/s		10.8 L/s	



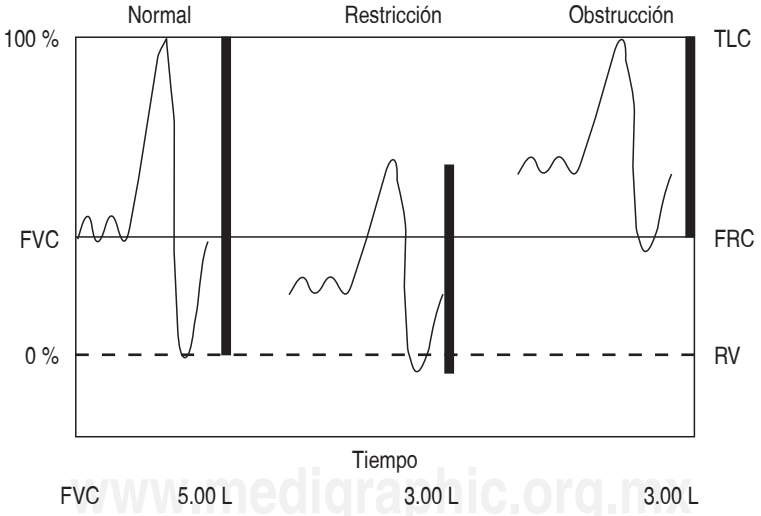
www.medigraphic.org.mx

Figura 14.11: Espirometría de un varón de 27 años de edad, 1.73 m de estatura y 81 kg. La relación FEV_1/FVC (80.5%) y la FVC (99.8%) están por arriba del límite inferior normal. Por lo tanto, la prueba se interpreta como normal.



	FEV_1 (L)	FVC (L)	FEV_1/FVC
Normal	2.40	3.00	80%
Restricción	1.20	1.50	80%
Obstrucción	1.00	2.50	40%

Figura 14.12: Representación esquemática de los patrones respiratorios espirométricos. En una espirometría normal, el pulmón es de tamaño promedio (FVC) y más del 70% de la FVC se exhala en un segundo (FEV_1 normal). En restricción pulmonar, la FVC es baja, pero el flujo de aire es normal (FEV_1/FVC > 70%). En cambio, en obstrucción pulmonar la FVC puede ser normal o baja, pero el flujo de aire está disminuido (FEV_1/FVC = 40%).



www.medigraphic.org.mx

Figura 14.13: Patrones funcionales respiratorios, de acuerdo al volumen pulmonar. El patrón normal se refiere a volúmenes dentro de límites de referencia para la edad, sexo y estatura de un individuo. El patón restrictivo se refiere a un pulmón pequeño, como se observa en las enfermedades intersticiales o fibrosantes del pulmón. El patrón obstructivo puede ser de tamaño normal, e incluso aumentado, pero la capacidad vital (FVC) estará disminuida en función de atrapamiento aéreo.

Parámetro	Predichos Pérez-Padilla	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	4.46 L	2.88 L	64.6	2.79 L	62.6	2.78 L	62.3
FEV_1	3.54 L	2.37 L	66.9	2.34 L	66.1	2.15 L	60.7
FEV_1/FVC	79.8	82.2%	103	83.8 L	105	77.3%	96.9
PEF		10.99 L/s		10.4 L/s		105 L/s	

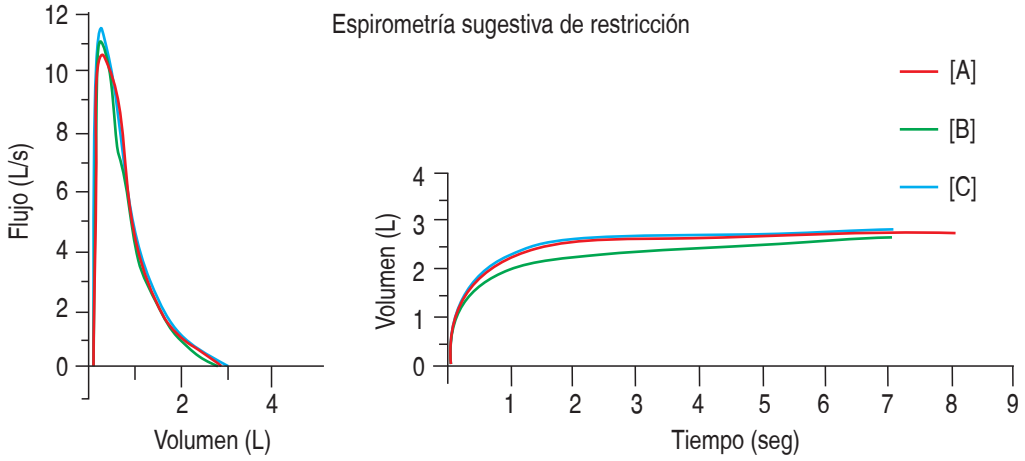


Figura 14.14: Espirometría de un varón de 53 años de edad, 1.70 m de estatura y 120 kg de peso. La relación FEV_1/FVC es de 82% y la FVC es de sólo 65% del predicho, por lo que la prueba se interpreta como sugestiva o compatible con restricción pulmonar.

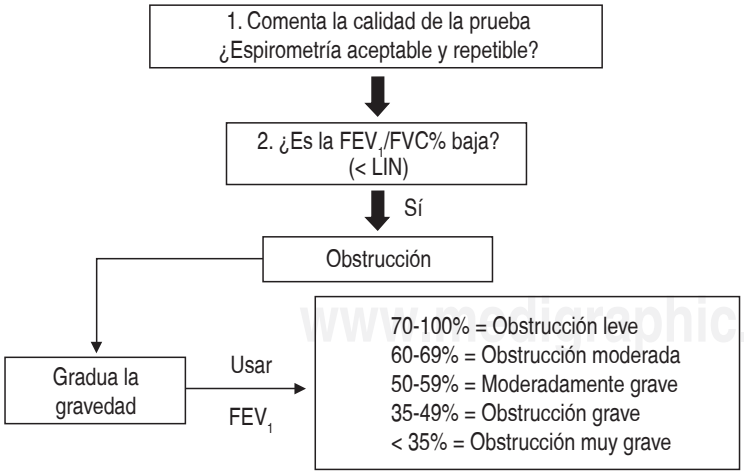


Figura 14.15:

Diagrama de flujo recomendado para determinar si el patrón respiratorio en espirometría es obstructivo y la gravedad del mismo. La interpretación siempre comienza con una valoración de la calidad de la prueba, sigue determinar si la relación FEV_1/FVC es < LIN (baja), lo que define obstrucción al flujo de aire. Posteriormente, se determina la gravedad de la obstrucción con base en el valor de FEV_1.

www.medigraphic.com

de aire ventilado del pulmón (FVC). Como el flujo o caudal a través de un conducto depende principalmente del diámetro del conducto (Ley de Poiseuille), un flujo bajo traduce obstrucción de los conductos y resistencias aumentadas. Una vez que se determina la presencia de obstrucción al flujo aéreo, se debe graduar el grado de gravedad de la obstrucción, para lo cual se debe usar el porciento del predicho del FEV_1 (Figura 14.15). En la Figura 14.16 se muestra un ejemplo de obstrucción al flujo de aire.

9. Interpreta apropiadamente la respuesta al broncodilatador

¿Cómo se interpreta la respuesta al broncodilatador?

Para fines de diagnóstico, especialmente cuando se sospecha obstrucción al flujo de aire, es recomendable que la espirometría sea completada con prueba de broncodilatador. La respuesta al broncodilatador se evalúa tanto en la FVC como en el FEV_1. Se considera una respuesta

Parámetro	Predichos Pérez-Padilla	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	4.41 L	2.58 L	58.5	2.42 L	54.9	2.45 L	55.6
FEV_1	3.37 L	1.22 L	36.2	1.17 L	34.7	1.14 L	33.8
FEV_1/FVC	77.3%	47.5%	61.5	48.3%	62.5	46.4%	60.0
PEF		3.08 L/s		3.35 L/s		3.51 L/s	

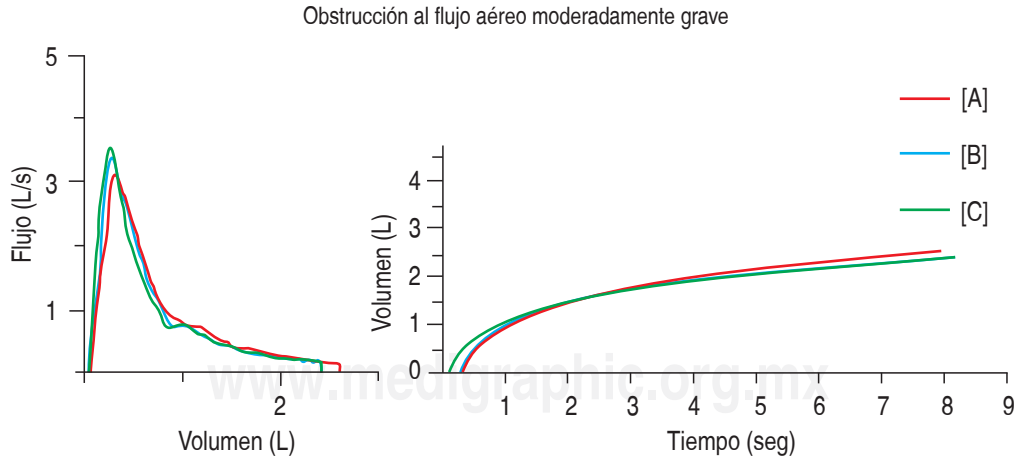


Figura 14.16: Espirometría de un varón de 66 años de edad, 1.76 m de estatura y 80 kg de peso. La relación FEV_1/FVC es de sólo 47.5% y el FEV_1 es de sólo 58.5% del predicho, por lo que la prueba se interpreta como obstrucción al flujo aéreo grave (FEV_1 de 36.2%).

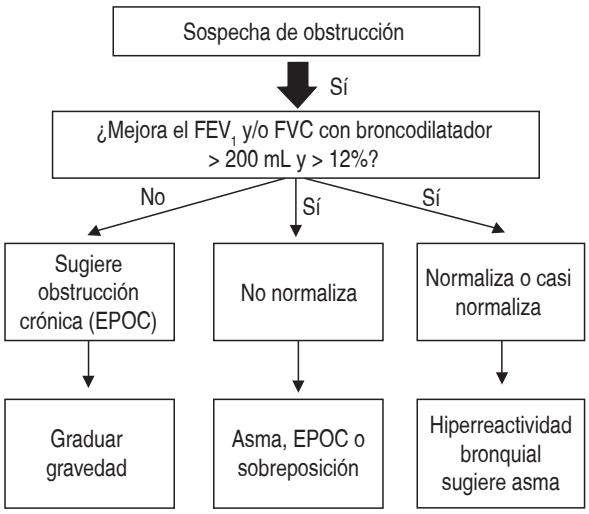
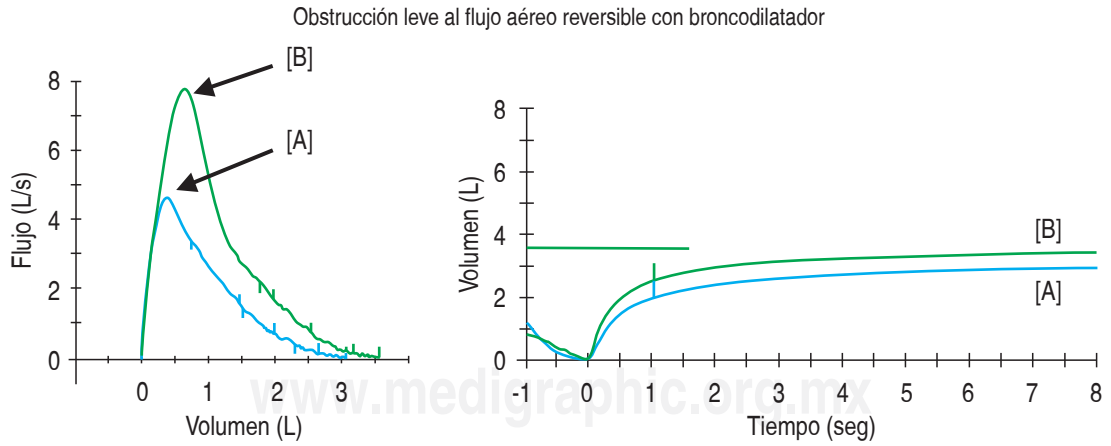


Figura 14.17:

Diagrama de flujo recomendado para evaluar la respuesta al broncodilatador. Si existe respuesta positiva al broncodilatador y el FEV_1 se normaliza o casi se normaliza, la espirometría sugiere hiperreactividad bronquial, como sucede en el asma. Si hay una ausencia de respuesta al broncodilatador o una respuesta positiva que no normaliza, la espirometría es compatible con obstrucción crónica al flujo aéreo, como sucede en EPOC. Una respuesta significativa al broncodilatador, pero, con obstrucción persistente significativa, puede ser compatible con asma, EPOC o la sobreposición de ambos.

		Basal [A]		Postbroncodilatador [B]		Cambio	
Parámetro	Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	L	%
FVC	3.43 L	3.09 L	90	3.57 L	104	0.42 L	16
FEV_1	2.53 L	2.00 L	79	2.55 L	100	0.55 L	27
FEV_1/FVC		65.0%		71%		72.1%	
PEF	7.57 L/s	4.62 L/s	61	7.80 L/s	102	3.18 L/s	69



www.medigraphic.org.mx

Figura 14.18: Espirometría basal y con respuesta al broncodilatador. La prueba basal muestra obstrucción al flujo aéreo leve (FEV_1/FVC de 65% y FEV_1 de 79%). Posterior al broncodilatador, existe mejoría significativa de la FVC (0.42 L y 16%) y del FEV_1 (0.55 L y 27%). Además, la espirometría postbroncodilatador se normaliza. Este estudio es compatible con hiperreactividad bronquial, como sucede en el asma.

positiva al broncodilatador cuando la FVC y/o el FEV_1 mejoran > 0.20 L y > 12% del valor basal, ambos criterios deben cumplirse (Figura 14.17). Es de notar que puede existir mejoría sólo en la FVC (respuesta positiva). Este cambio puede estar asociado a mejoría en la hiperinflación pulmonar y también se asocia a menos disnea.

Cuando la respuesta al broncodilatador es positiva y la espirometría se normaliza o casi se normaliza, el resultado es compatible con hiperreactividad bronquial, como sucede en el asma (Figuras 14.17 y 14.18). Por el contrario, cuando existe obstrucción al flujo de aire y no hay cambio significativo (> 0.20 L y > 12%) ni en la FVC ni en el FEV_1, se define como obstrucción al flujo aéreo sin respuesta al broncodilatador (obstrucción fija o crónica); este resultado corresponde más frecuentemente a la EPOC (Figuras 14.17 y 14.19). El tercer escenario posible es que exista una respuesta al broncodilatador positiva, pero persista la obstrucción al flujo aéreo significativa. Este caso puede corresponder a asma con obstrucción que no resuelve completamente, a EPOC con hiperreactividad bronquial significativa o una combinación de ambos, llamada sobreposición

		Basal [A]		Postbroncodilatador [B]		Cambio	
Parámetro	Predichos	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Cambio
FVC	2.90 L	2.48 L	85.5	2.59 L	89.3	0.11 L	5
FEV_1	2.30 L	1.43 L	62.2	1.54 L	67.0	0.11 L	7
FEV_1/FVC	80.0%	58%	72.5	59%	57.5	1.0%	1.7
PEF	3.82 L/s	2.51 L/s	65.7	2.51 L/s	65.7	0 L/s	0

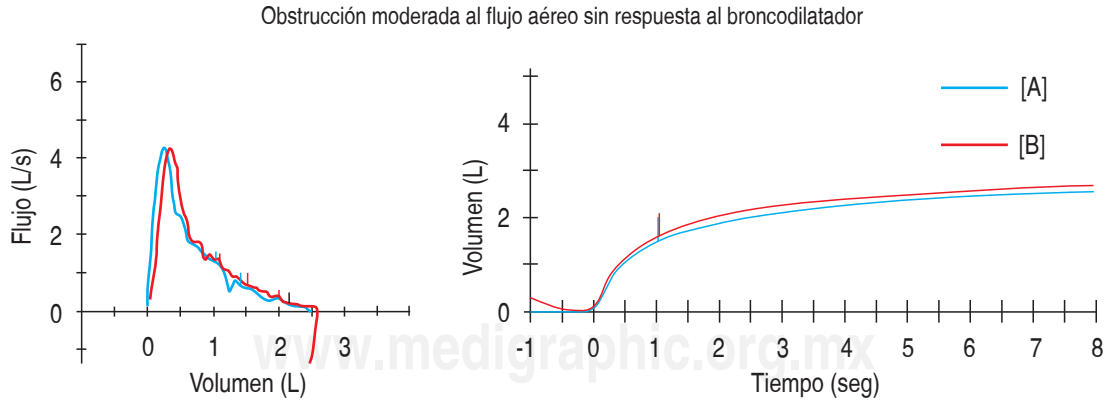


Figura 14.19: Espirometría basal y con respuesta al broncodilatador. La prueba basal muestra obstrucción al flujo aéreo moderada (FEV_1/FVC de 58% y FEV_1 de 62%). Posterior al broncodilatador, no existe mejoría significativa en FVC (0.11 L y 5%) ni en el FEV_1 (0.11 L y 7%). Este estudio sugiere obstrucción al flujo aéreo crónica o fija, como sucede en el EPOC.

www.medigraphic.org.mx

		Basal [A]		Postbroncodilatador [B]		Cambio	
Parámetro	Predichos	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	L	%
FVC	3.43 L	2.16 L	63	2.57 L	74	0.41 L	19
FEV_1	2.42 L	1.16 L	48	1.52 L	62	0.36 L	31
FEV_1/FVC		54%		59%		72.1%	
PEF	7.48 L/s	2.99 L/s	40	4.38 L/s	59	1.39 L/s	46

Obstrucción grave al flujo aéreo que responde al broncodilatador. Sin embargo, persiste con obstrucción moderada

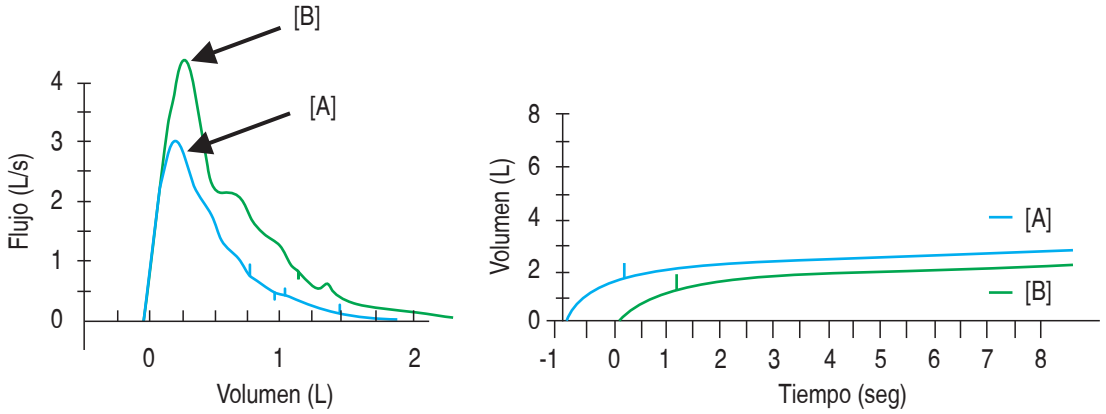


Figura 14.20: Espirometría basal que muestra obstrucción al flujo aéreo grave (FEV_1/FVC de 54% y FEV_1 de 48%). Posterior al broncodilatador, existe mejoría significativa en la FVC (0.41 L y 19%) y en el FEV_1 (0.36 L y 31%). Sin embargo, la espirometría postbroncodilatador persiste con obstrucción al flujo aéreo moderada. Este caso puede corresponder a asma, EPOC o sobreposición de ambos.

asma-EPOC (Figura 14.17). Un ejemplo de este caso se ilustra en la Figura 14.20.

10. Redacta apropiadamente el informe espirométrico

¿Cómo se debe redactar la interpretación de la espirometría?

www.medigrapic.org.mx

Los resultados de la espirometría no sólo pueden tener utilidad médica, también pueden tener un uso médico-administrativo e incluso médico-legal. Por lo tanto, el profesional responsable de la interpretación debe redactar el informe de forma puntual y específica. En la Tabla 14.5 se resumen los criterios diagnósticos de cada patrón ventilatorio y la redacción recomendada para el informe.

Es recomendable que el responsable de la interpretación conozca, al menos, la indicación de la prueba. Las indicaciones de la espirometría han sido revisadas en detalle previamente (Ca-

Tabla 14.5: Criterios de diagnóstico y redacción recomendada para el informe de espirometría.

Patrón	Criterio	Redacción
Normal	$FEV_1/FVC > LIN$ $FVC > LIN$	1. Capacidad vital (FVC) y flujo espiratorio (FEV_1/FVC y FEV_1) dentro de límites normales 2. Espirometría dentro de límites normales 3. Espirometría normal
Obstructivo	$FEV_1/FVC < LIN$	Obstrucción al flujo aéreo de grado: a) Leve FEV_1 = 70-100% b) Moderado FEV_1 = 60-69% c) Moderado-grave FEV_1 = 50-59% d) Grave FEV_1 = 35-49% e) Muy grave FEV_1 = < 35%
Restrictivo	$FEV_1/FVC > LIN$ $FVC < LIN$ (< 80%)	Sugestiva o compatible con restricción pulmonar de grado: a) Leve FVC = 70-79% b) Moderado FVC = 60-69% c) Moderado-grave FVC = 50-59% d) Grave FVC = 35-49% e) Muy grave FVC = < 35%
Mixto	$FEV_1/FVC < LIN$ $TLC < LIN$	Debido a que la espirometría no mide capacidad pulmonar total (TLC), que es el estándar de oro de restricción pulmonar, este patrón no debe ser interpretado sólo con espirometría

pítulo 7). Si se conoce la indicación, se puede mejorar la precisión diagnóstica ya que está en relación con la probabilidad preprueba de tener un resultado diagnóstico positivo. Esto es particularmente útil en las pruebas con resultados limítrofes en cuanto a valores de normalidad. Por ejemplo, una prueba con valores discretamente disminuidos en una persona asintomática y sin factores de riesgo para una enfermedad pulmonar es más probable que se trate de un falso positivo. En caso contrario, si se trata de un individuo con síntomas respiratorios y tabaquismo significativo, es más probable que el resultado de la prueba sea un verdadero positivo. En este contexto, puede ser útil recabar también la información necesaria, como la historia de tabaquismo y enfermedades pulmonares previas o de sospecha. Si la información clínica no es disponible o es escasa, la prueba se puede interpretar con valores limítrofes y se recomienda al médico de referencia que correlacione la información de acuerdo a la historia clínica del enfermo.

Para la redacción propia del informe, se inicia con un comentario de la calidad de la prueba, por ejemplo, el grado de calidad. Posteriormente, se incluye la redacción específica que concuerde con el resultado de la espirometría. Asimismo,

www.medigraphic.org.mx

se deben evitar establecer diagnósticos clínicos. Los errores más frecuentes en la interpretación de la espirometría son los siguientes:

1. Hacer diagnósticos con espirometría no concluyente por ser de mala calidad técnica.
2. Diagnóstico de obstrucción con criterio GOLD ($FEV_1/FVC < 70\%$).
3. Diagnóstico de patrón mixto.
4. Hacer un diagnóstico clínico (EPOC, asma, otro).
5. Excluir enfermedad con espirometría normal.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

15

Organización de un Centro de Espirometría

La disponibilidad de espirómetros portátiles y de muy buen desempeño técnico han permitido llevar la prueba fuera del laboratorio de función pulmonar, prácticamente a cualquier sitio, como el consultorio médico, las unidades de urgencias médicas, la cama del paciente en el hospital, en el domicilio, etc. Sin embargo, es recomendable que los centros de referencia para espirometría reúnan algunas condiciones de infraestructura que garanticen la calidad de la misma dentro de un ambiente cómodo y seguro tanto para el personal, como para las personas que acuden a realizarse el estudio. En este capítulo se revisan algunas recomendaciones generales para organización general y del personal de un Centro de Espirometría. Éstas son las bases para un Laboratorio de Pruebas de Función Respiratoria. La organización del Centro o del Laboratorio debe incluir procedimientos que establezcan medidas de higiene y seguridad, el control de calidad del espirómetro y un programa de aseguramiento de calidad; por su relevancia, éstos se revisan en capítulos aparte (Capítulos 16 y 17).

www.medigraphic.org.mx

Sitio y equipamiento

Sitio donde se realiza la espirometría

1. Área para recepción y sala de espera.
2. Cubículo o área exclusiva para realizar la prueba que permita privacidad.

3. Debe contar con silla fija, sin ruedas y con soporte para brazos.
4. Es recomendable que exista poco ruido y poca circulación del personal y de otros pacientes.
5. Espacio de suficiente amplitud y con buena ventilación para que se disminuya la exposición al resto del personal y de pacientes.
6. Temperatura ambiente agradable y de preferencia controlada para que sea estable durante el día. Esto facilita la cooperación de los pacientes y disminuye el impacto de la temperatura en la realización de las pruebas.
7. Si se realizan pruebas en niños, es recomendable una zona más apropiada que incluya sillas pequeñas, decorado más colorido y animado.

Selección del espirómetro

La selección y compra del espirómetro es una decisión muy importante para un Centro de Espirometría. El responsable de esta decisión es un experto y no una persona administrativa, por ejemplo, el director o coordinador médico del centro, para lo cual debe tener el conocimiento y la experiencia necesaria en los equipos disponibles. La decisión de qué equipo se adquiere depende de la conveniencia de acuerdo a diferentes factores como los que se enumeran a continuación:

www.medigraphic.org.mx

1. Definir si se requiere de un espirómetro fijo o portátil. Esto está determinado por las condiciones en las que se va a realizar la prueba. La portabilidad del espirómetro depende del tipo de dispositivo (de flujo o de volumen), habitualmente los de volumen son mucho más grandes. También se debe considerar si requiere de un equipo de cómputo e impresora.
2. Seleccionar entre equipos de volumen o de flujo. Además de las dimensiones, se deben considerara los costos de mantenimiento, la rutina de higiene y descontaminación.
3. La jeringa de calibración es un requerimiento importante para el laboratorio, ya que es un instrumento básico para el control de calidad de los equipos. Debe incluirse una jeringa de 3 litros, aunque incrementa significativamente el costo de inversión.
4. En caso de seleccionar un equipo de flujo, también se debe considerar el tipo de sensor de flujo. Los equipos pueden ser de turbina, de neumotacógrafo o ultrasónicos (Capítulo 7).
5. Se debe considerar el soporte técnico por parte del proveedor local, así como los costos de mantenimiento.
6. Se deben evaluar los consumibles requeridos, su disponibilidad regular y costos.

Equipamiento adicional

1. Se requiere de un estadímetro colocado contra la pared y una báscula calibrada. La típica báscula de consultorio con estadímetro incluido que mide la estatura del sujeto subido en la báscula es más imprecisa.
2. Cinta métrica para medir brazada.

3. Es recomendable contar con un termómetro ambiental que tenga errores menores a un grado centígrado para actualizar la temperatura en los equipos cuantas veces sea necesario.
4. Debe conocerse la altitud, la presión barométrica y la humedad relativa promedio del sitio donde se realizan las pruebas y que pueden ser obtenidos de centros meteorológicos locales. Algunos equipos cuentan con unidades meteorológicas que miden constantemente estos parámetros.
5. Se debe contar con broncodilatadores (salbutamol) en aerosol y cámaras espaciadoras o reservorios.
6. Boquillas de diferentes tipos que puedan utilizarse en niños y adultos y ancianos con prótesis dental.
7. Pinzas o clips nasales. Son importantes, sobre todo para pacientes que tienden a inhalar por la nariz después de una espiración forzada y vuelven a exhalar por la boca.

Requerimientos de personal

Los requerimientos mínimos de personal para un laboratorio de espirometría son, al menos, un técnico especializado y un supervisor médico. Dependiendo del tamaño del laboratorio, el número de equipos y pruebas que se realizan, el personal técnico será mayor y requerirá de un coordinador y/o un director técnico del laboratorio. Asimismo, se puede requerir de personal auxiliar, como secretaria o asistentes administrativo y de laboratorio. Los perfiles profesionales o laborales, así como las recomendaciones de capacitación del personal se describen a continuación:

www.neumographic.org.mx

Director o Coordinador Médico

El director o coordinador médico del laboratorio es idealmente un médico especialista, de preferencia neumólogo; certificado como especialista y en espirometría. Es deseable que cuente con experiencia previa, especialmente en la organización del laboratorio de función pulmonar. En su defecto, se debe proponer un programa de capacitación especializada de corto y mediano plazo y de acuerdo a las funciones requeridas:

1. Supervisión del personal técnico.
2. Responsable de los manuales de organización y de procedimientos.
3. Determinar qué pruebas se ofrecen.
4. Responsable de un ambiente seguro de trabajo.
5. Interpretación de resultados.
6. Sistema de reportes y comunicación médica.
7. Mantenimiento y actualización del equipo.
8. Responsable del programa de capacitación o educación continua.
9. Responsable del programa de aseguramiento de calidad.

Técnico en espirometría

El perfil escolar de un técnico en espirometría no ha sido bien definido y los factores que determinan su desempeño no son completa-

mente conocidos. En la práctica un número amplio de personas con diferente formación ha demostrado desempeño adecuado. En el estudio PLATINO de América Latina, se entrenaron más de 40 técnicos en espirometría, la mayoría sin experiencia previa en la prueba. Entre ellos, hubo enfermeras y técnicos respiratorios, los más recomendados, pero también se incluyeron estudiantes, trabajadoras sociales y encuestadores, entre otros. Mientras cumplieran y aprobaran el entrenamiento estándar de certificación en espirometría y se mantuvieran supervisados, el desempeño siempre fue sobresaliente. En general, se ha considerado un nivel educacional medio superior como mínimo y deben tener un manejo fluido de ciencias y matemáticas básicas. El entrenamiento estandarizado en espirometría se ha descrito en el Capítulo 6 (Figura 6.3). Además, es recomendable que se cuente con capacitación administrativa suficiente para los procedimientos propios, así como para el control de infecciones y bioseguridad.

Los factores de mal desempeño no necesariamente se deben a pereza, indolencia, escasa capacidad o preparación. La prueba requiere del máximo esfuerzo del paciente; por lo tanto, se requiere una buena interacción entre técnico y paciente; ayuda que el técnico tenga una personalidad que favorezca la interacción amigable, activa y entusiasta (animador y motivador) y que genere confianza para facilitar que el paciente logre este máximo esfuerzo. Por el contrario, es inconveniente que el técnico sea excesivamente pasivo.

Organización del centro

Los centros de espirometría y los laboratorios de pruebas de función respiratoria deben estar organizados en cuanto a su personal y sus procedimientos. Una recomendación general es apegarse a la visión, misión y los códigos laborales establecidos por las instituciones y sitios de trabajo o, en su defecto, generar unos propios. Asimismo, la organización del laboratorio debe estar definida y documentada en manuales específicos de organización y de procedimientos. El manual de organización esencialmente establece los profesiogramas del personal que labora, las funciones y responsabilidades propias de cada elemento, así como las líneas de autoridad (organigrama); mientras que el manual de procedimientos define todos los procedimientos técnicos, administrativos, de higiene y seguridad, así como de control y aseguramiento de calidad; todos ellos necesarios para el adecuado funcionamiento del centro. Algunas recomendaciones adicionales para la organización administrativa se describen a continuación:

I. Programación y recepción de pacientes
   1. Todos los estudios son por indicación médica.
   2. La solicitud debe ser por escrito.
   3. Las solicitudes verbales deben ser previamente definidas (condiciones y personal responsable).
   4. Se deben dar las recomendaciones apropiadas para la preparación de los

www.neumographic.org.mx

pacientes para su cita como: dieta, ropa apropiada, ingesta de medicamentos y procedimientos administrativos que deben completar antes de la prueba.

5. Antes del estudio, el paciente puede completar un cuestionario de espirometría con información básica y contraindicaciones para la prueba (Anexo 1).

II. Horarios e intervalo de citas
   1. Es una decisión administrativa.
   2. Es recomendable coordinar con otras citas y traslados.
   3. Se debe programar tiempo suficiente para niños, personas mayores o con alguna limitación.

III. Manejo de archivos y reportes
   1. El manejo de datos personales debe apegarse a leyes y normas establecidas.
   2. Se puede manejar un archivo institucional o uno propio del laboratorio.
   3. Debe haber un procedimiento definido para entrega de reportes y de comunicación médica.

Procedimientos de higiene y seguridad en espirometría

Los riesgos durante la realización de las pruebas de función respiratoria son bajos para el paciente y para el personal, pero existentes, por lo que se deben conocer para poder prevenirlos. Los procedimientos de higiene y de seguridad deben estar documentados en el manual de procedimientos del laboratorio o del centro de espirometría. Estos procedimientos tienen como objetivo prevenir la transmisión de infecciones tanto en el personal, como en las personas que acuden a realizar la prueba. Por otra parte, los procedimientos de seguridad buscan disminuir los riesgos propios del sitio de trabajo y que suelen ser comunes, como: descargas eléctricas, incendios, ruido excesivo, condiciones climáticas, desastres naturales o ambientes inapropiados para trabajar. Asimismo, puede haber riesgos particulares como son los derivados por el uso de cilindros de alta presión, la inhalación de aerosoles tóxicos o infectocontagiosos y la transmisión de infecciones por sangre o líquidos corporales. Cuando se llevan normas de seguridad bien definidas, los riesgos para el personal y los usuarios que acuden a un estudio son muy escasos.

Los riesgos de transmisión de infecciones entre personal y usuarios están relacionados principalmente con gérmenes respiratorios. En la Tabla 15.1 se muestran los principales riesgos de trasmisión de infecciones y las medidas de prevención más eficientes. El número de gérmenes potenciales es muy grande y corresponde principalmente a virus respiratorios. Una infección respiratoria aguda, así sea un catarro común, es una contraindicación relativa de la prueba, se debe reprogramar el estudio, al menos dos semanas después de resuelto el cuadro. Por su frecuencia, transmisibilidad y su potencial gravedad, el virus de la influenza es el más importante de prevenir. El personal de un centro de espirometría, incluyendo el administrativo, se considera en riesgo; las medidas de protección personal y la vacunación anual son la principal forma de prevención. Otros gérmenes, especial-

www.medigraphic.org.mx

Tabla 15.1: Riesgos de infección y medidas de protección en centros de espirometría.

Riesgos de infección	Medidas de protección
Infecciones de trasmisión directa 1. Respiratorias 2. Entéricas 3. Por sangre y líquidos corporales	Medidas generales administrativas 1. Cancelación y reprogramación de la prueba en caso de infecciones agudas 2. Programación en áreas, horarios y con equipos especialmente asignados
Gérmenes de trasmisión respiratoria indirecta 1. Virus 2. Tuberculosis 3. Agentes oportunistas 4. Gérmenes nosocomiales	Medidas de protección personal 1. Lavado de manos 2. Uso de cubrebocas de alta eficiencia (n95); eficiencia de filtración de 95% a partículas de 1 micrón y a 50 L/min con fuga menor al 10% Filtros en línea para espirometría 1. Siempre desechables 2. Siempre en circuito cerrado 3. Basta boquilla desechable en circuito abierto 4. Bajo espacio muerto (50-100 mL) 5. Baja resistencia (< 1.5 cmH_2O a 6 L/s) 6. Alta eficiencia de filtración de virus y bacterias (> 99%) 7. Pueden impactar resultados. Se debe calibrar el equipo con el filtro Ventilación del área 1. Por lo menos, se recomiendan espacios con ventilación natural adecuada 2. Ventilación controlada con cambios de 6 volúmenes o más de aire si se trata de áreas de alto riesgo (tuberculosis) Limpieza y descontaminación de equipos 1. Al menos, al término de una jornada de trabajo 2. Siempre que se sospeche contaminación de riesgo 3. Apegarse a lineamientos hospitalarios locales 4. De acuerdo a recomendaciones del fabricante

mente virus respiratorios, difteria y tosferina, se pueden contagiar por saliva o secreciones respiratorias por vía indirecta o a través de las manos. Aunque los virus de la hepatitis B y el de inmunodeficiencia humana (VIH) se han encontrado en la saliva y secreciones, parece ser un medio de un riesgo muy bajo, especialmente para contactos ocasionales y no se ha demostrado que haya ocurrido en el personal de salud. Otras enfermedades con potencial de transmisión por contacto con el enfermo o sus secreciones son las gastrointestinales.

www.neumographic.org.mx

Las medidas preventivas más efectivas, además de las administrativas, son las de protección personal, así como medidas de higiene y descontaminación. El lavado e higiene de manos se considera la medida primaria para prevenir infecciones entre pacientes y trabajadores de la salud. Estas medidas requieren una capacitación simple para apegarse a la técnica internacionalmente recomendada. El lavado de manos debe realizarse cuando las manos están visiblemente sucias, cuando se ha tenido contacto con sangre o líquidos corporales, con sospecha de contacto con organismos formadores de esporas y después de ir al baño. La higiene con una solución a base de alcohol es recomendada antes y después de tocar a un paciente, si se ha tenido contacto con líquidos corporales, después de tocar dispositivos invasivos o equipos en contacto con líquidos corporales o ante la sospecha de cualquier contaminación.

Cuando hay sospecha de estar en alto riesgo de contacto con gérmenes trasmisibles, como el virus de influenza y micobacterias (tuberculosis), se debe usar cubrebocas de alta eficiencia. Este equipo de protección personal debe cumplir con una eficiencia de filtración de más del 95% para partículas menores a una micra, a un flujo de 50 L/min y con una fuga menor al 10%. Su uso y cuidado también requiere una capacitación específica.

Cuando el centro de espirometría o el laboratorio de pruebas de función pulmonar se consideran de alto riesgo, por ejemplo, por personas con tuberculosis, se deben considerar otras medidas preventivas. Contar con áreas específicas para estos pacientes y que estén bien ventiladas es la principal medida. Al menos, se debe contar con área con buena ventilación natural y, de ser posible, con ventilación artificial, que garantice recambios de aire mayores de seis volúmenes del espacio por hora.

El uso de filtros en línea es una medida importante para evitar contaminación de los equipos. Siempre deben usarse cuando la espirometría se hace con circuito cerrado y si existe riesgo de contaminación del equipo. Los filtros son desechables, deben ser de baja resistencia y bajo espacio muerto. Además, en caso de usarlos, se debe realizar la calibración o verificación de calibración con el filtro integrado al espirómetro. Otra medida muy importante de higiene es la limpieza y descontaminación de los equipos. Para esto, se recomienda seguir las indicaciones del fabricante acordes a cada dispositivo. Las instituciones y centros hospitalarios suelen tener procedimientos específicos y se recomienda apegarse a los mismos. El procedimiento de limpieza y descontaminación debe realizarse, al menos, al término de la jornada de trabajo y siempre que se sospecha una contaminación específica.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

16

Control de calidad de los espirómetros

Actualmente, es común hablar de los conceptos de calidad, de control de calidad y de aseguramiento de calidad, de forma indistinta o intercambiable sin que lo sean. Por supuesto que es deseable que cualquier estudio, como la espirometría, tenga "calidad", pero en la práctica se requiere demostrar que realmente la cumple. Por lo tanto, en un centro de espirometría deben estar garantizados todos los procedimientos de control de calidad y de aseguramiento de calidad. Primeramente, es importante definir algunos conceptos fundamentales para los procedimientos de calidad relacionados con espirometría:

Control de calidad: Son todos los procedimientos que demuestran la precisión y exactitud de los instrumentos de medición (espirómetros). Los conceptos de precisión y exactitud se ilustran en la Figura 16.1.

Exactitud: Se refiere al ajuste que se hace con respecto a un patrón externo o estándar de oro, también se puede definir como la ausencia de sesgo en una medición. En espirometría se define como la cercanía del promedio de una serie de calibraciones de volumen, como patrón o estándar de referencia se usa una jeringa de 3.00 L. En promedio, el espirómetro debe medir 3.00 L; si consistentemente mide en promedio 3.10 L, existe un sesgo de 0.10 L, que lo aleja de su estándar de oro; es decir, tiene menos exactitud que la ideal. Es prácticamente imposible que un instrumento se ajuste perfectamente a su

www.medigraphic.org.mx

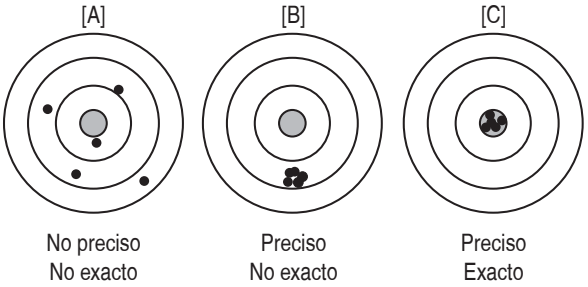


Figura 16.1: Representación gráfica, usando el ejemplo de tiro al blanco, de los conceptos de precisión y exactitud; los puntos representan mediciones. En el ejemplo [A], las mediciones no son ni precisas ni exactas. En el caso [B], se puede decir que son precisos porque todas están muy cercanas entre sí, pero no son exactos (no están en el centro); existe un sesgo constante en el acierto o medición. En el caso [C], los aciertos son precisos y exactos.

estándar, por lo que se debe conocer el desempeño del equipo propio y el de los existentes en el mercado, para establecer un límite aceptable de exactitud o un margen de error aceptable. Este margen suele ser temporal y conforme mejora la tecnología y los procedimientos, tiende a disminuir.

Precisión: Se puede definir como la coincidencia o cercanía entre mediciones repetidas con respecto a un estándar de oro. Se evalúa por medio de la desviación estándar o el coeficiente de variación de las mediciones o calibraciones. La precisión de un espirómetro se refiere a la capacidad de tener o acercarse a una repetibilidad perfecta; por ejemplo, si se aplica repetidamente un volumen conocido (jeringa de 3.00 L) y el espirómetro mide en todas ellas exactamente lo mismo. Es imposible que todas las mediciones resulten idénticas; en general, varían un poco, con lo que se considera un error de tipo aleatorio alrededor del promedio. En términos generales, en un dispositivo de medición se busca también que la variabilidad sea mínima, de acuerdo al desempeño actual de los equipos y a las mejores técnicas disponibles en todo el mundo.

Repetibilidad: Es la mayor coincidencia entre resultados obtenidos con respecto a mediciones sucesivas que implican mismo método, mismo observador, mismo instrumento, mismo lugar, misma condición y repetidas sobre un periodo corto de tiempo.

Reproducibilidad: Es la mayor coincidencia entre resultados de mediciones sucesivas que implican diferentes condiciones como método de medición, observador, instrumento, lugar, condiciones de uso y tiempo.

Calibración: Es el procedimiento por el cual se establece una relación entre el volumen o flujo medido por el sensor del instrumento de medición con respecto al volumen o flujo de un calibrador (jeringa). Este concepto se refiere a un ajuste de la ganancia eléctrica del instrumento de medición con respecto al calibrador. Por lo tanto, de no realizarse antes de la medición, se pueden tener errores más grandes.

Verificación de calibración: Es un concepto diferente al de calibración. Este procedimiento se usa para validar que el espirómetro se encuentra dentro de los límites de calibración (exactitud), ± 3%. En este caso, durante el procedimiento no se realiza ningún ajuste de la ganancia eléctrica del sensor de medición. Si el dispositivo falla repetidamente la señal de calibración, ésta debe repetirse o el equipo debe enviarse a mantenimiento o revisión.

www.neumologia.org.mx

Medición fuera de control: Se considera cuando la medición está a más de tres desviaciones estándar con respecto al promedio. En el caso de las calibraciones espirométricas, se refiere a una medición con una variación mayor al 3% del volumen o más de 0.90 L para una jeringa de 3.00 L.

Instrumentos de calibración

Jeringas con volumen fijo: Es el instrumento estándar, habitualmente de 3.00 L, aunque convendría tener varios volúmenes. La calibración dinámica y de flujos se considera adecuada si la medida de volumen es constante, a pesar de que la velocidad de inyección se modifique.

Jeringas de flujo-volumen (jeringa Jones): Son jeringas cuyo pistón está asociado a una cremallera y un microprocesador que calcula el volumen (FVC) y los flujos inyectados, como FEV_1, PEF y FEF_{25-75}. Permite una prueba de varios volúmenes y flujos, por lo que se puede obtener una verificación de linealidad y de condiciones dinámicas.

Pistón controlado por computadora: Se trata de un pistón (jeringa metálica) conectado a una computadora que simula las 24 a 26 ondas estándar de flujo de la Asociación Americana del Tórax (ATS). Es el estándar de oro, ya que prueba volúmenes y flujos; simula espirometrías de personas normales y enfermos con diferente grado de volumen extrapolado. Un instrumento puede dar la calibración de 3.00 L (la rutinaria) y fallar esta prueba. Sin embargo, es un instrumento caro que no está disponible de manera común. Se realiza sólo en centros de investigación o de certificación de equipos.

Control biológico: Es un estándar humano; se realiza con voluntarios sanos pulmonares que realizan una espirometría periódicamente y su medición se utiliza para verificar al instrumento. Es una estrategia que se debe implementar más comúnmente en ambientes de escasos recursos, ya que las jeringas de calibración incrementan el costo de adquisición de los equipos.

Procedimientos de control de calidad

Los criterios de desempeño de los espirómetros, establecidos por los estándares internacionales (ATS/ERS 2005), han sido revisados en el Capítulo 7. Éste es el paso inicial en el proceso de estandarización de la espirometría (Figura 6.1). Los espirómetros modernos que suelen comercializarse de forma internacional suelen cumplir o superar los criterios de desempeño. Sin embargo, el fabricante habitualmente sólo evalúa de manera independiente un equipo de cada marca y modelo, y en una sola ocasión. De suerte que la validación de un prototipo no necesariamente implica que todos conserven las características, ni que las mantengan a lo largo del tiempo. El procedimiento ideal sería una certificación más estricta que asegure un funcionamiento adecuado por mucho tiempo, y una buena concordancia de datos entre un grupo de equipos. En este sentido, el estándar de oro es el pistón controlado por computadora y las 26 ondas estándar de la ATS para flujos y volúmenes. Sin embargo, los procedi-

www.neumographic.org.mx

mientos estandarizados de control de calidad de los equipos (Tabla 16.1) son obligados y representan una garantía mínima de que el equipo mantiene un desempeño con precisión y exactitud.

Calibración de volumen

Todo espirómetro debe ser calibrado o verificado en calibración diariamente para volumen antes de realizar la prueba, al inicio de labores y cada vez que haya duda de su exactitud. En algunos estudios de investigación se ha hecho calibración al inicio y al final del día, y en otros, al inicio, al final y cada cuatro horas de trabajo. Siempre se deben utilizar jeringas de 3.00 L, ya que una calibración o verificación de calibración a menor volumen no garantiza que el sensor funcione bien a mayores volúmenes. Las jeringas de 3.00 L deben tener una exactitud de 15 mL o, al menos, ± 0.5% del volumen absoluto (15 mL para una jeringa de 3.00 L). Las jeringas deben ser evaluadas (calibradas en volumen) periódicamente, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Una jeringa accidentalmente golpeada o en la que se desplace accidentalmente el tope del émbolo debe considerarse descalibrada y no apta para los controles de calidad. Asimismo, las jeringas deben ser revisadas para fugas, al menos una vez al mes. Esto se hace fácilmente si se trata de desplazar el émbolo con el orificio ocluido.

Siempre debe asegurarse una conexión sólida y hermética entre jeringa y espirómetro,

Tabla 16.1: Estándares de control de calidad de espirómetros (ATS/ERS 2005).

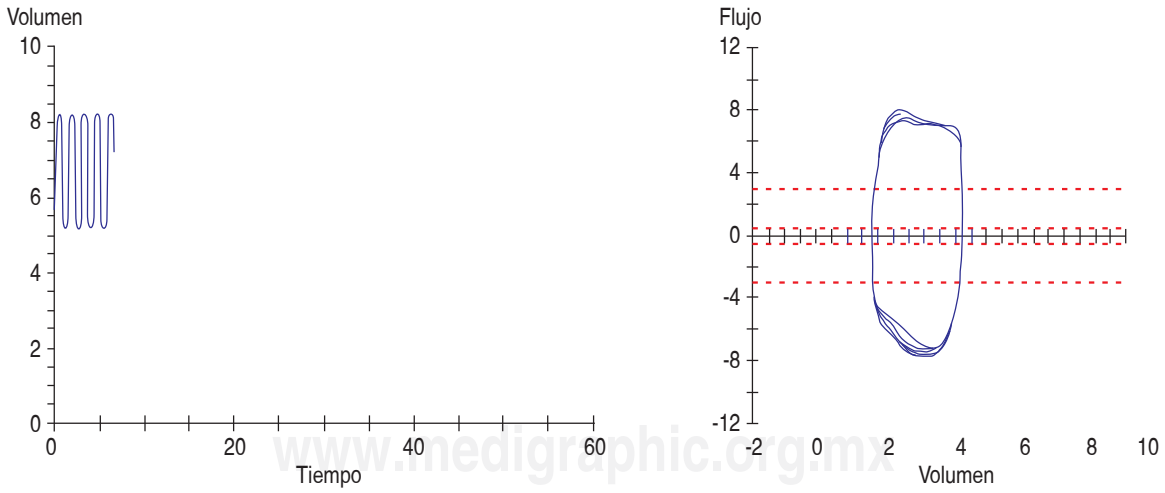
Variable	Definición	Dispositivo	Frecuencia	Registro
Volumen	Exactitud en litros en las mediciones del dispositivo con respecto a un control externo (jeringa de 3 L)	Espirómetro	Diaria	1. Gráfico (dispersión) 2. Estadístico
Fugas	Revisión de fugas para comprobación de hermetismo de espirómetros de volumen	Espirómetros de volumen y jeringa	Semanal	Bitácora
Linealidad	Exactitud en litros (L/s) del dispositivo con respecto a la jeringa de 3 L a tres diferentes flujos máximos (< 2, 4-6 y > 8 L/seg)	Espirómetro	Semanal	1. Gráfico 2. Estadístico
Tiempo	Exactitud del tiempo en segundos del espirómetro con respecto a un cronómetro	Espirómetro	Cada 3 meses	Bitácora
Programa *(software)*	Actualizaciones periódicas del programa del espirómetro	Espirómetro	De acuerdo al fabricante	Bitácora
Control biológico	Variabilidad de FEV_1 y FVC en un sujeto sano (personal fijo del laboratorio)	Espirómetro	Semanal	1. Estadístico 2. Gráfico

especialmente cuando no se utilicen jeringas originales del espirómetro. La inyección con la jeringa durante la calibración debe simular una maniobra de FVC. Se iniciará súbitamente de tal manera que el PEF se obtenga casi inmediatamente y el volumen extrapolado permanezca dentro de un rango aceptable. La velocidad de inyección se disminuirá hacia el final de la maniobra para que el FEV_1 sea menor que la FVC. Las mediciones de calibración deben fluctuar entre 2.95 y 3.05 L (variación de 0.05 L). Sin embargo, los estándares aceptan entre 2.91 y 3.09 L, una variación del 3%. Asimismo, es importante que para realizar la calibración o verificar la calibración se sigan las recomendaciones para cada equipo establecidas por el fabricante. La mayoría de los espirómetros cuentan con menús especiales en el programa, para realizar y almacenar los datos de calibración. En la Figura 16.2 se muestra un ejemplo de calibración de volumen de un espirómetro de volumen y en la Figura 16.3 se grafican los controles de calibración de varios espirómetros con sensor de flujo ultrasónico usados en un estudio de investigación.

Fecha: 07/26/05
Tiempo de calibración: 14:51

P_b (Presión barométrica): 584 mmHg
Temperatura: 25 °C

	Objetivo	Factor de correción	– Volumen por maniobra – 1	2	3	4	Promedio	% del objetivo
Inspiración	3.00	0.983	3.00	3.00	3.00	3.01	3.00	100
Expiración	3.00	0.986	2.99	2.99	2.99	3.00	2.99	100



www.medigraphic.org.mx

Figura 16.2: Calibración de un espirómetro de volumen. Se presentan los datos generales, que incluyen la fecha y hora de calibración, la temperatura y la presión barométrica. La maniobra de calibración en este equipo requiere cuatro inyecciones de aire simulando inspiración y espiración. La variabilidad entre cada maniobra fue sólo de 0.01 L (2.99 a 3.01 L).

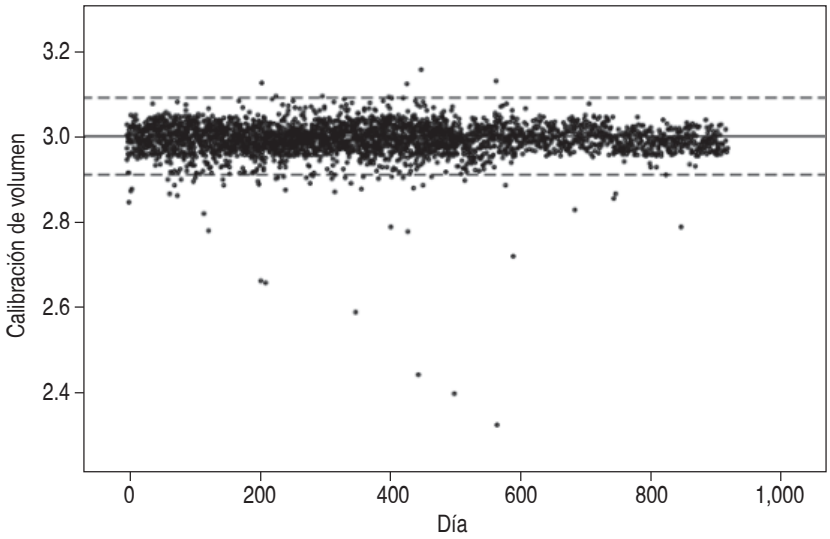


Figura 16.3:

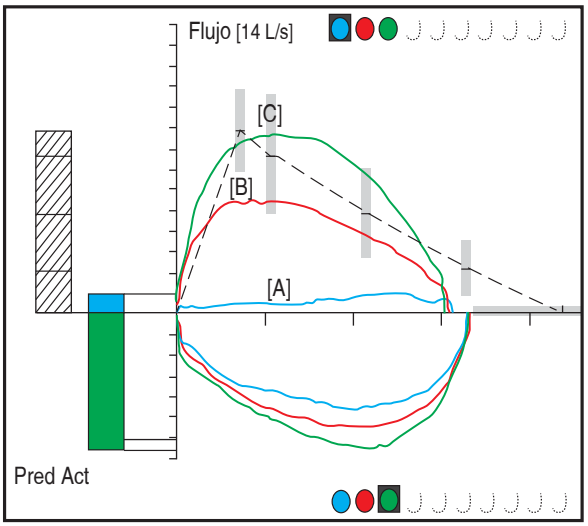
Ejemplo de un registro gráfico de las calibraciones de volumen de varios espirómetros usados en un estudio de investigación en cinco diferentes ciudades (estudio PLATINO). Se grafican los volúmenes medidos con jeringa de 3.00 L en función del tiempo en días que duró el estudio en cada ciudad. Como puede observarse, la gran mayoría de las mediciones los espirómetros exhibieron un desempeño en exactitud dentro del estándar internacional (± 0.90 L o de 2.91 a 3.09 L de rango de medición).

Linealidad

El control de calidad de linealidad del espirómetro debe realizarse por lo menos una vez a la semana. Este concepto se refiere a la exactitud del dispositivo para medir el mismo volumen a diferentes flujos. Recordemos que el concepto de flujo corresponde a la aceleración del volumen (cambio de velocidad por cambio de tiempo). En este control, sin importar el flujo al que se realiza la calibración (alto o bajo), el espirómetro debe medir el mismo volumen.

Algunos espirómetros modernos ya cuentan con menús específicos de control de calidad que incluyen calibraciones de volumen y linealidad. Sin embargo, este procedimiento se puede realizar simulando una espirometría convencional con la jeringa de calibración. El procedimiento consiste en simular tres maniobras de FVC a diferentes flujos, los cuales corresponden a flujo bajo, medio y alto. El flujo de referencia es el flujo pico o PEF; para la primera maniobra, el PEF debe ser menor a 2 L/s, para la segunda, de 4 a 6 L/s y para la tercera, mayor de 8 L/s. La diferencia de volumen (FVC) entre las tres maniobras debe ser menor de 0.09 L. En la Figura 16.4 se muestra un ejemplo de linealidad en espirómetro de flujo con sensor tipo neumotacógrafo. El técnico responsable de la calibración debe practicar lo suficiente para poder simular los flujos dentro de los límites de referencia mencionados. En la práctica, esto se logra con inyecciones muy lentas y suaves, fuertes y rápidas e intermedias entre ambas. En la Figura 16.5 se muestran los controles de linealidad de dos equipos en función al tiempo.

www.neumologia.org.mx



	[A]	[B]	[C]
PEF (L/s)	0.95	5.5	8.7
FVC (L)	3.11	3.05	3.04

Diferencia de volumen = 0.70 L

Figura 16.4: Ejemplo de un ejercicio de linealidad en un espirómetro de flujo (neumotacógrafo). Para la maniobra, se simulan tres maniobras de FVC con la jeringa de calibración y que corresponden a flujo bajo (maniobra A, PEF < 2 L/seg), flujo medio (maniobra B, PEF de 4 a 6 L/seg) y flujo alto (maniobra C, PEF > 8 L/s). La diferencia de volumen o FVC entre las tres maniobras es menor de 0.90 L (0.07 L).

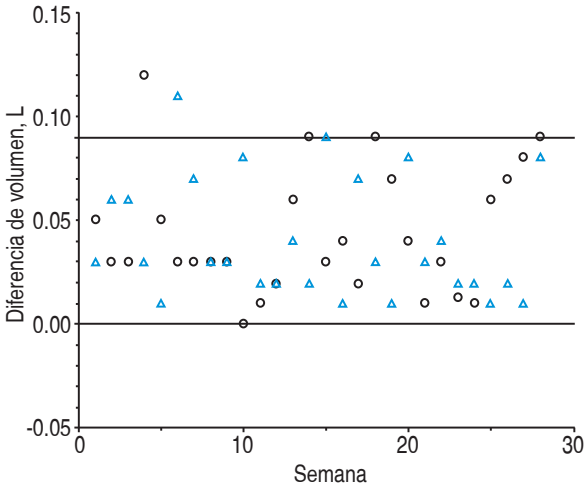


Figura 16.5: Registro gráfico de controles de linealidad en dos espirómetros (círculos y triángulos) en funcional tiempo (semanas). En la gran mayoría de los controles, la diferencia de volumen es menor de 0.90 L, lo que demuestra que los dispositivos son lineales para la medición de volumen.

Control biológico

El control biológico puede ser una opción aceptable para el control de calidad de volumen (FVC) e incluso (FEV_1), sólo en dispositivos de verificación de calibración y cuando no se dispone de jeringas de calibración. Para este control de calidad se debe seleccionar una persona no fumadora y sin historia de enfermedad pulmonar. Es recomendable que sea el mismo técnico u otro personal fijo del laboratorio que colabore y esté disponible para el control, por lo menos una vez por semana y a largo plazo (meses o años).

Después de seleccionar a la persona que fungirá como control biológico, se debe completar el procedimiento de evaluación del mismo para su aplicación a largo plazo. El sujeto control debe realizar 10 a 20 mediciones espirometrías convencionales, las cuales pueden realizarse una vez al día hasta completar por lo menos 10 pruebas. Éstas deben exhibir un coeficiente de variación menor de 10% para la FVC Y FEV_1; asimismo, se establece el valor promedio de FVC, FEV_1 y su desviación estándar (DE). Una vez definida la variabilidad del control biológico, está listo para funcionar como control de calidad y debe repetirse la medición cada semana. En la Figura 16.6 se

www.neumographic.org.mx

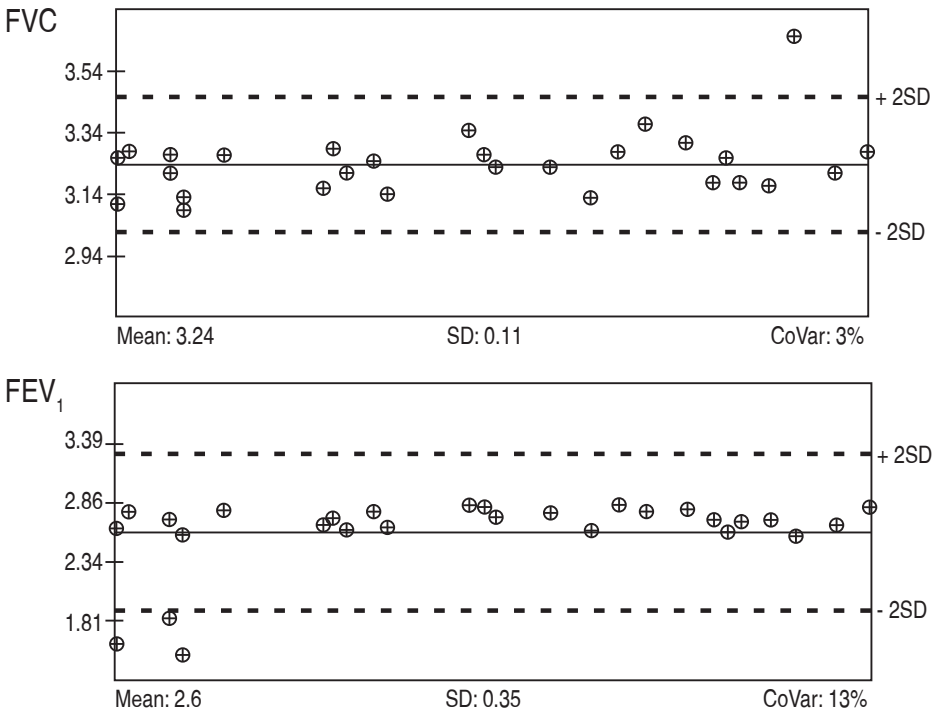


Figura 16.6:

Registro gráfico de un control biológico. Se grafica la FVC (panel superior) y el FEV_1 (panel inferior) en función del tiempo (semanas). Se establece el valor promedio de la FVC y FEV_1 y sus desviaciones estándar (DE o SD). Una medición de FVC mayor de 3 DE de su variabilidad o repetidamente > 2 SD se consideran mediciones fuera de control.

muestran las variaciones del volumen y flujo (FVC y FEV_1) en función del tiempo (semanas) de un control biológico.

Vigilancia de los controles de calidad

La vigilancia de los controles de calidad a largo plazo es muy importante y se espera que los controles se mantengan dentro de los límites esperados de variabilidad. Cuando un equipo se sale consistentemente de estos límites, debe considerarse potencialmente descalibrado o en falla y debe ser remitido a revisión técnica. Los criterios para definir equipos fuera de control son los siguientes:

1. Si el control es una medición a más de 3 DE del promedio.
2. Dos mediciones consecutivas a más de 2 DE en la misma dirección.
3. Más de cuatro mediciones a más de 1 DE en la misma dirección.
4. 10 o más mediciones de la misma dirección del promedio.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

17

Aseguramiento de calidad de la espirometría

El aseguramiento de calidad incluye a todos los procedimientos enfocados en garantizar la calidad de la prueba y del servicio que se ofrece, incluye: 1) los procedimientos de control de calidad; 2) mantenimiento de los equipos; 3) entrenamiento y valoración de competencia del personal; 4) sistemas de comunicación y reporte de resultados; 5) vigilancia y mantenimiento de la competencia; y 6) manejo de datos personales y guardado de registros. Éstos son procedimientos estandarizados dentro de procesos de calidad internacionales, como los de ISO, entre otros. Algunos beneficios de los programas enfocados en la calidad son que los procedimientos están mejor definidos y el personal se encuentra más enterado de ellos; existe una mejor rendición de cuentas; el entrenamiento y la competencia son mejores; y se favorece un desempeño laboral con un mayor trabajo en equipo.

Los procedimientos de aseguramiento de calidad son indispensables en un sistema que busca la llamada calidad total. En un centro de espirometría, la calidad total tendría como objetivo final la completa satisfacción de los usuarios que se realizan la prueba y la del médico que la solicita; por lo que la organización debería estar orientada en este sentido. Esto no se aborda completamente, pero es muy importante para el desarrollo del centro o laboratorio. Con frecuencia, la organización está determinada por las preferencias y necesidades

www.medigraphic.org.mx

Tabla 17.1: Fuentes de variación de la función pulmonar.

Fuente	Determinantes	Observaciones
Factores técnicos	Instrumento	1. Variabilidad del equipo (intra- e interinstrumento)
		2. Desempeño del instrumento
		3. Calibraciones
		4. Mantenimiento
		5. Programa del equipo *(software)*
	Observador	1. Entrenamiento
		2. Preparación, guía y apoyo al sujeto
		3. Selección de la prueba, análisis y cálculos
	Sujeto	1. Comprensión, cooperación y motivación
		2. Efecto de aprendizaje
		3. Posición del cuerpo y cuello, pinzas nasales
		4. Actividades previas y exposiciones
	Interacciones	1. Observador-sujeto
		2. Observador-instrumento
		3. Sujeto-instrumento
	Procedimiento	1. Número de esfuerzos y selección del esfuerzo
		2. Análisis
		3. Historia volumétrica
	Otros	1. Temperatura y altitud
Biológica		
Intrasujeto	Personales y fisiológicos	1. Posición del cuerpo y cuello
		2. Exposiciones y actividades
		3. Efectos circadianos, estacionales y endocrinos
Intersujeto	Personales, raza, salud, medio ambiente	1. Edad, estatura y peso
		2. Salud previa y exposiciones (tabaco, polvos, etc.)
		3. Residencia y nivel socioeconómico
Interpoblación	Criterios de selección para estudios	1. Fumadores
		2. Personas con obesidad o sobrepeso
		3. Base poblacional o grupos específicos
		4. Sanos o trabajadores

Tabla 17.2: Fuentes de variación espirométrica del estudio PLATINO.

Variable	FEV_1	FVC	FEV_6	FEV_1/FVC	FEV_1/FEV_6
Edad	27	17	21	11	9
Estatura	44	55	53	1	0.7
Sexo	31	39	37	2	1
Índice de masa corporal	1	2	2	2	2
Peso	9	9	9	0.3	0.8
Ciudad	3	2	1	5	4
Técnico	2	3	3	7	6
Tabaco	0	0	0	2	1.6
Tabaco, síntomas, EPOC o asma	4	2	3	9	9.0
Total	**67**	**70**	**71**	**25**	**24**
Inexplicado	**33**	**30**	**29**	**75**	**76**

Los valores se presentan con porcentaje de variación en los parámetros espirométricos que es explicado por las variables.

Tabla 17.3: Documentación recomendable para fines de aseguramiento de calidad y auditoria.

1	Manual de instalación del equipo, manual de procedimientos, manual técnico, manual de organización
2	Base de datos con todas las maniobra, o al menos las tres mejores
3	Base de datos con calibraciones o bien bitácora de calibraciones, de preferencia con gráficas en función del tiempo, con límites de más y menos 3%
4	Gráficas de controles biológicos
5	Bitácora de problemas y acciones
6	Bitácora de mantenimiento de equipos (incluye instalación)
7	Registro de calidad por técnicos y laboratorios, incluyendo porcentaje de pruebas que cumplen criterios de calidad o grados de calidad
8	Bitácora de vigilancia externa de calidad, en caso de existir

del director y de su personal, como los horarios de trabajo. Los procedimientos para solicitar los estudios, para recoger los resultados, el tiempo de entrega e incluso el costo dependen de los criterios del personal. Cuando se busca la calidad total o la satisfacción de pacientes y médicos, toda la organización se centra en el paciente y en el médico que refiere un concepto radicalmente diferente a lo que con frecuencia se realiza en la práctica.

Este manual y los cursos de entrenamiento en espirometría tratan sobre todos los procedimientos de estandarización de la espirometría, que es un proceso de aseguramiento de calidad (Capítulo 6). El coordinador o director del centro de espirometría o laboratorio de función pulmonar es responsable de la supervisión del control de calidad de los equipos y del programa de aseguramiento de calidad. En general, éstos

buscan disminuir al máximo las fuentes de variación o ruido que pueden afectar las mediciones (Figura 6.2 y Tabla 17.1), así como mantenerlas estables o mejorarlas con el tiempo. Los determinantes de la variabilidad espirométrica dependen de la prueba, del técnico y del individuo. La estatura es el principal determinante de FEV_1 y FVC, mientras que la edad lo es para el FEV_1/FVC. Con el uso de valores de referencia apropiados, se ajusta para la estatura, sexo y edad. En la Tabla 17.2 se muestran las fuentes de variación detectadas en el estudio PLATINO, que incluyen las variables de la población, los equipos, técnicos, la ciudad y la presencia de síntomas, exposiciones o enfermedades pulmonares (asma o EPOC). Todos estos parámetros explican cerca del 70% de la variabilidad espirométrica; un 30% no puede ser explicado, por lo que podría ser sólo variación biológica. Los procedimientos de control y aseguramiento de calidad buscan disminuir al máximo las fuentes de variabilidad y así obtener mediciones con la mayor exactitud posible. En el Capítulo 16, se revisaron en detalle los procedimientos de control de calidad de los equipos, éstos deben ser complementados con su mantenimiento. En la Tabla 17.3 se enumeran los documentos que deben completarse y resguardarse en el laboratorio o centro de espirometría con fines de aseguramiento de calidad, auditoría y certificación. Ejemplos de los mismos se presentan en el apartado de anexos.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

18

Evaluación de la deficiencia y la discapacidad en enfermedades respiratorias ocupacionales

La valoración de la deficiencia y la discapacidad es un proceso de suma importancia en medicina respiratoria y ocupacional, debido a que los riesgos y las enfermedades respiratorias son de los más frecuentes. El proceso de evaluación de la deficiencia respiratoria recae esencialmente en las pruebas de función respiratoria. Para el abordaje inicial, la prueba más importante es la espirometría, por lo que en este capítulo se revisan en detalle los procedimientos propuestos y actualizados por las instancias oficiales de México; la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) y la Secretaría de Salud a través del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias para la evaluación de estas enfermedades y que son consistentes con los recomendados internacionalmente. Estas han sido publicadas en detalle, recientemente (Neumol Cir Tórax 2017; 76: 271-284) y por su relevancia se reproducen en este capítulo.

En México, en el artículo 515 de la Ley Federal del Trabajo, el cual no sufrió modificación en la reforma 2012, encomienda a la STPS a realizar las investigaciones y estudios necesarios para la adecuación periódica de las tablas de enfermedades de trabajo y la evaluación de incapacidades permanentes de acuerdo al progreso de la medicina. Bajo este contexto, la STPS integró grupos de trabajo que incluyeron especialistas clínicos, especialistas en salud en el trabajo, investigadores, académicos y peritos médicos dictaminadores, con la finalidad de actualizar la

www.medigraphic.org.mx

tabla de enfermedades de trabajo. Además, este proceso de actualización incluyó: 1) determinar de manera precisa a los trabajadores expuestos de acuerdo al tipo de actividad; 2) definir el tipo de daño a la salud de acuerdo al tipo de exposición; 3) actualizar los elementos clínicos, de laboratorio y de gabinete para la adecuada evaluación y diagnóstico de cada padecimiento; y 4) proveer la metodología más apropiada para la evaluación de la deficiencia o de incapacidad permanente de los trabajadores, así como la determinación de su capacidad residual en función de su calidad de vida y aptitud para el trabajo.

El grupo de trabajo de enfermedades del sistema respiratorio propuso para la actualización de la tabla de enfermedades de trabajo (artículo 513) un nuevo proceso de evaluación de la deficiencia respiratoria de acuerdo con las recomendaciones internacionales. Este proceso se basa en una evaluación objetiva sustentada en las pruebas de función respiratoria (PFR), las cuales deben realizarse bajo estándares vigentes internacionales. En este capítulo se describen las propuestas de evaluación de la deficiencia que son congruentes con los criterios internacionales.

Enfermedades respiratorias de origen ocupacional

Las enfermedades respiratorias de origen ocupacional (ERO) son un grupo de enfermedades crónicas cuya causalidad está ligada a la exposición crónica de contaminantes aéreos directamente relacionados al ambiente de trabajo. Estas enfermedades contribuyen significativamente a la carga de enfermedad de la población en general, pero particularmente de la población económicamente activa. Se conoce que las enfermedades pulmonares crónicas como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), las enfermedades pulmonares intersticiales y el cáncer pulmonar pueden tener como origen las exposiciones nocivas del ambiente laboral; incluso pueden ser clínicamente indistinguibles en su forma ocupacional y no ocupacional. Recientemente, se ha estimado que los agentes del ambiente de trabajo contribuyen etiológicamente entre uno y 40% al cáncer de pulmón, entre 10 y 20% al asma y aproximadamente 15% a la EPOC. Las ERO impactan en la calidad de vida y en el desempeño laboral de las personas que las padecen, lo cual también depende de la gravedad de las mismas y la frecuencia con que se puedan exacerbar. Además, las exacerbaciones también pueden depender de las exposiciones ambientales en el trabajo. Todo médico no sólo debe estar familiarizado con la forma de explorar la exposición ambiental y laboral, sino también con los principales aspectos de diagnóstico y manejo de las ERO, además de que debe ser un promotor de un ambiente de trabajo sano y seguro.

Las ERO pueden clasificarse de diferentes formas. Sin embargo, para fines clínicos es importante reconocerlas por su presentación clínica, su daño histopatológico primario y los agentes causales a los que se asocian. Las ERO reconocidas por la ley vigente en México son agrupadas en: 1) enfermedades de la vía aérea,

www.neumographic.org.mx

neumonitis por hipersensibilidad y bronquiolitis obliterante y neumonía organizada, causadas por exposición a partículas orgánicas; 2) neumoconiosis; 3) bronquitis y/o neumonitis agudas o crónicas de origen químico o tóxico, 4) asfixias por inhalación de gases, humos y vapores; y 5) asma y disfunción reactiva de la vía aérea. Además, se especifica el tipo de exposición y su agrupación actual; las ERO de tipo infeccioso o neoplásicas se encuentran en otros apartados.

Deficiencia y discapacidad

Los términos deficiencia *(impairment)* y discapacidad *(disability)* han sido claramente definidos por la Organización Mundial de la Salud. Deficiencia es la anormalidad o pérdida de una estructura corporal o de una función fisiológica. Esta alteración debe ser medida objetivamente, puede clasificarse como temporal o permanente y debe ser graduada en gravedad. Discapacidad se refiere a la restricción o pérdida de la capacidad para realizar una actividad en forma o dentro del contexto considerado como normal para una persona. Este término incorpora el efecto total de la deficiencia sobre la vida del paciente y se afecta por variables como la edad, género, nivel educativo y socioeconómico, medio ambiente, ocupación y requerimientos de energía que pueden limitar a realizar cierto tipo de trabajos. En consecuencia, dos personas con la misma deficiencia (por ejemplo, daño funcional) pueden tener diferente discapacidad, al grado que uno puede estar incapacitado para su empleo y el otro no. La evaluación de la deficiencia es responsabilidad de un especialista experto, quien debe cuantificarlo, mientras que la determinación de discapacidad es una decisión también experta, pero que requiere considerar variables médicas y no médicas (individuales, familiares, sociales y laborales).

Evaluación de la deficiencia respiratoria: valoración funcional

Dada la posibilidad de una ganancia secundaria por el dictamen de incapacidad, es esencial que la valoración se centre en pruebas objetivas, en este caso las PFR. En la actualidad, la evaluación mínima de la función respiratoria requiere considerar la parte mecánica, la de intercambio de gases y la evaluación durante el ejercicio. La parte mecánica se refiere a la resistencia al paso del aire por la vía aérea, al volumen pulmonar y a la rigidez del pulmón y del aparato respiratorio. Varias enfermedades afectan de manera inicial la capacidad pulmonar para el intercambio gaseoso teniendo todavía pruebas normales de mecánica, como las que afectan la circulación pulmonar, las enfermedades intersticiales del pulmón y el enfisema pulmonar. De suerte que puede haber una pobre correlación entre la alteración mecánica y el daño al intercambio gaseoso. También cuando la lesión es inicial puede manifestarse solamente como una demanda adicional como la que se observa en el ejercicio.

Las PFR son una medición extraordinariamente objetiva y cuantitativa de la función pulmonar y, por lo tanto, también son útiles para la medición precisa de la mejoría o el agravamiento de

www.medigraphic.org.mx

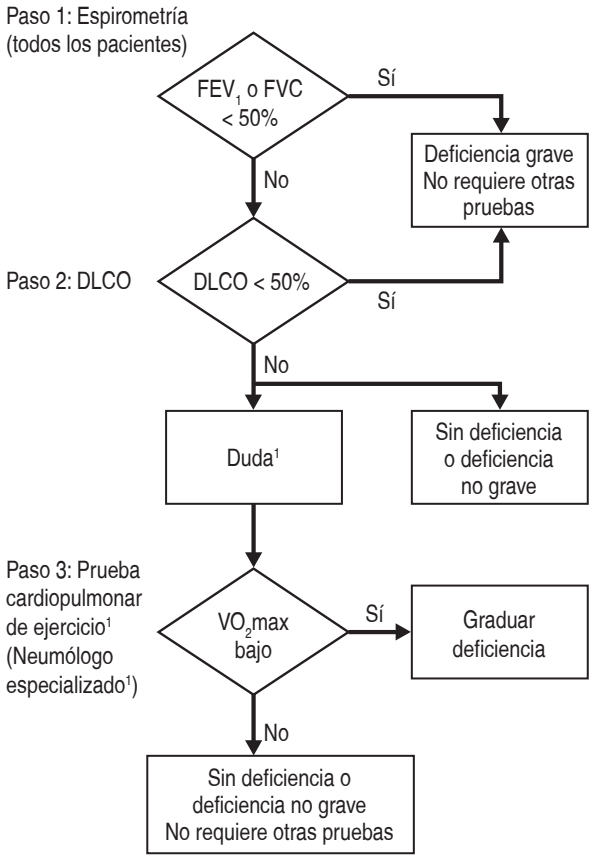
las enfermedades. La espirometría es la prueba más simple, accesible y confiable para evaluar la función mecánica, mientras que la medición de difusión pulmonar de monóxido de carbono (DLCO) es la prueba más recomendada en la actualidad para evaluar el intercambio de gases a nivel pulmonar; cuando estas pruebas no son concluyentes para determinar la deficiencia respiratoria, habitualmente en la minoría de los casos, se debe realizar una prueba cardiopulmonar de ejercicio (PCPE).

Es importante mencionar que las PFR no son completamente específicas ni diagnósticas de una enfermedad, así como un resultado normal tampoco descarta una enfermedad. Las pruebas en reposo (espirometría y DLCO) pueden tener una correlación variable con la capacidad funcional real del paciente que sólo puede ser medida de manera definitiva por PCPE. Asimismo, el daño funcional puede ser heterogéneo entre enfermedades respiratorias y entre pacientes con la misma enfermedad. La valoración de deficiencia debería ser idealmente individualizada por enfermedad, pero esto sólo se ha hecho en el caso del asma.

La medición de la difusión o transferencia de monóxido de carbono (DLCO o TLCO) es una prueba de intercambio gaseoso que mide con relativa facilidad el proceso de oxigenación a nivel alvéolo-capilar. La prueba es muy sencilla y toma unos 15 a 20 minutos realizarla. A diferencia de la espirometría, no requiere de maniobras forzadas, por lo que puede resultar más cómoda. Para esta prueba se usa como marcador de oxigenación el monóxido de carbono (CO) que pasa libremente la membrana y que es altamente afín a la hemoglobina. La cantidad de CO administrada es muy pequeña y su transferencia se calcula a partir de la relación entre el volumen de CO inspirado y espirado.

En términos generales, la prueba de DLCO mide la integridad de la membrana alvéolo-capilar; las enfermedades que disminuyen la superficie de la membrana, como el enfisema pulmonar, o que la alteran por inflamación o fibrosis, como las neumoconiosis, cursan con una DLCO proporcionalmente más baja de acuerdo al grado de daño alveolar. Esta prueba ha sido estandarizada internacionalmente (ATS/ERS 2005 y ATS/ERS 2017) para la técnica de una sola respiración y se recomienda seguir estos lineamientos. La maniobra (Figura 18.1) consiste en una exhalación máxima hasta llegar a volumen residual; posteriormente, se realiza con inspiración máxima equivalente a una capacidad vital inspiratoria o volumen inspiratorio (V_{in}), durante esta inhalación se libera el gas de prueba que contiene 0.3% de CO y un gas inerte que suele ser helio, neón o metano, el cual permite medir el volumen de aire ventilado en el pulmón. Posteriormente, se realiza un periodo de apnea de 10 segundos de duración, que es donde se transfiere el CO hasta la hemoglobina; finalmente, se realiza una espiración mayor a cuatro segundos para captar el aire espirado proveniente de los alvéolos para calcular la proporción de CO transferido a la hemoglobina. La prueba completa consiste en dos mediciones consecutivas y que muestren una diferencia no mayor a tres unidades (mmol/min/kPa) o 10%.

www.medigraphic.org.mx



[1] Disnea o limitación referida excesiva para la alteración en espirometría o DLCO.

Figura 18.1: Diagrama de flujo recomendado para la evaluación funcional respiratoria en el proceso de graduación de la deficiencia respiratoria con el uso progresivo de prueba de función respiratoria. Este esquema sugerido busca disminuir el número de pruebas que se realizan en los centros de referencia. El procedimiento inicia en todo enfermo con la realización de una espirometría. Si la prueba confirma un valor de FEV_1 o FVC igual o menor al 50% se determina deficiencia grave sin requerir de mayor evaluación. El segundo paso requiere valorar el intercambio de gases a nivel pulmonar con la prueba de DLCO. En la mayoría de los enfermos sería posible graduar el estado de deficiencia respiratoria solo con espirometría y DLCO. En caso de duda, principalmente con la presencia de disnea o limitación referida excesiva para las alteraciones encontrada en la espirometría o DLCO se recomienda una prueba de ejercicio pulmonar para determinar el consumo de oxígeno (VO_2max) para determinación definitiva del grado de deficiencia.

La interpretación de la prueba también se realiza a partir de una comparación directa con los valores normales o predichos. Recientemente, se han publicado ecuaciones de referencia para población latinoamericana que incluyen mexicanos (Respir Care 2016; 61: 1217-1223). Al igual que los flujos y volúmenes pulmonares, una disminución de la DLCO se define cuando está por debajo del LIN (aproximadamente 80% del predicho). Para graduar la gravedad se recomienda definir disminución leve con DLCO entre el LIN y 60%; disminución moderada de 40 a 59% y grave cuando es menor al 40% del predicho.

Prueba cardiopulmonar de ejercicio

Las PFR convencionales en reposo suelen diagnosticar y graduar la gravedad de la mayoría de las enfermedades respiratorias crónicas. Sin embargo, no dan información directa de la capacidad funcional del individuo, por lo que las pruebas de ejercicio, particularmente la PCPE puede tener un impacto en el proceso de decisión clínica para identificar origen de síntomas (disnea) y la contribución de diferentes órganos (pulmones, corazón o músculo esquelético) en la limitación al ejercicio. La PCPE puede ser requerida en una minoría de pacientes con ERO y permite definir de manera definitiva el grado de funcionalidad del individuo, ya que mide la capacidad de realizar trabajo físico; en consecuencia, mejora la precisión con que se evalúa el grado de deficiencia funcional.

www.neumographic.org.mx

La PCPE se realiza en un ciclo-ergómetro o en una banda sinfín con protocolos de incremento progresivos de trabajo. Durante la prueba se mide el consumo de oxígeno (VO_2), la producción de CO_2 (VCO_2) y la ventilación minuto; también se pueden monitorear otras variables de interés durante el ejercicio, como el electrocardiograma, la presión arterial y la saturación de oxígeno por pulso-oximetría (SpO_2). Asimismo, si se obtienen gasometrías arteriales se agrega información sobre el intercambio gaseoso durante el ejercicio.

La PCPE realizada en ciclo-ergómetro electrónicamente controlado es preferible a la realizada en banda sinfín; es menos costoso y más seguro, permite medir directamente el trabajo realizado con menos artefactos en el ECG y facilita la toma de muestras de sangre arterial. Los protocolos de ejercicio son variados; se recomiendan incrementos de trabajo de 5 a 25 *watts* por minuto y la capacidad aeróbica se debe alcanzar en menos de 12 minutos, ya que la prueba resulta incómoda debido a la instrumentación.

El consumo máximo de oxígeno (VO_2max) se alcanza cuando existe meseta en el VO_2, es decir, no aumenta a pesar de incrementos en el trabajo. Cuando no se alcanza meseta en el VO_2 se denomina como consumo pico de oxígeno (VO_2pico); para fines prácticos ambos parámetros son intercambiables y representan el mejor indicador de la capacidad de ejercicio. Estos parámetros deben informarse como valores absolutos (L/min) y como porcentaje del predicho. Un VO_2max normal refleja capacidad aeróbica y capacidad de ejercicio normales y descarta anormalidad funcional. En contraste, un VO_2max disminuido traduce pobre esfuerzo o problemas en la entrega de oxígeno que pueden tener origen en los pulmones, circulación sistémica y pulmonar, músculo-esquelético o en el trasporte sanguíneo.

Graduación de la deficiencia respiratoria

Varias organizaciones profesionales internacionalmente reconocidas han publicado sus recomendaciones para la evaluación de la deficiencia respiratoria. La ATS publicó en 1986 en conjunto con la Asociación Americana del Pulmón (ALA) las recomendaciones para evaluación de deficiencia y discapacidad secundaria a enfermedades respiratorias. Estas recomendaciones no han sido actualizadas de manera reciente, excepto para el caso de asma, revisada y publicada en 1993. La Sociedad Europea de Fisiología Respiratoria Clínica (SEPCR) publicó sus recomendaciones para graduar discapacidad respiratoria en 1990. Finalmente, la Asociación Médica Americana (AMA) en sus guías para evaluación de deficiencia fueron revisadas en el año 2000, éstas incluyen recomendaciones específicas para valoración del sistema respiratorio. Las recomendaciones de las tres organizaciones son muy similares; sin embargo, las de la AMA son las que con mayor frecuencia se utilizan y refieren en la literatura. Estas valoraciones son secuenciales como se describió. Si con la prueba más sencilla, la espirometría, se puede documentar una alteración funcional grave, ya

www.monographic.org.mx

no es necesario hacer pruebas adicionales. Se han promovido esquemas de evaluación "en paquete", que someten a los solicitantes a espirometría, DLCO, PCPE y quizá otras pruebas, pero el procedimiento en muchas ocasiones es redundante y además incrementa los costos. Es más eficiente en forma secuencial y las pruebas más sofisticadas pueden realizarse sólo en algunos centros especializados, ya que se requerirán en menos individuos.

La valoración médica de deficiencia respiratoria debe incluir una valoración clínica previa con historia médica y examen físico cuidadoso, radiografía de tórax y pruebas de función respiratoria estandarizadas que siempre deben incluir de inicio a la espirometría. Todas las recomendaciones publicadas se enfocan principalmente en evaluar el grado de deficiencia respiratoria relacionada a una reducción de la función pulmonar, lo cual se asocia a una alta probabilidad de limitación para la capacidad de realizar ejercicio físico. Antes de la evaluación de deficiencia es recomendable que ya exista un diagnóstico médico establecido, ya que la función pulmonar puede estar disminuida directamente por enfermedades no respiratorias, como deformidades músculo-esqueléticas del tórax, enfermedades neuromusculares o incluso por insuficiencia cardiaca. Las pruebas de función respiratoria deben realizarse con el paciente estable y siguiendo todas las recomendaciones de estandarización previamente referidas.

Las guías de la ATS, SEPCR y AMA recomiendan realizar la espirometría y prueba de DLCO en todos los casos y sólo una minoría de pacientes requieren de una PCPE. En el proceso de valuación se incluyen sólo los valores predichos de CVF, VEF_1 y de DLCO. La SEPCR y la AMA insisten en utilizar límites inferiores de normalidad de acuerdo a la distribución del valor en la población de referencia. La AMA especifica grados de deficiencia respiratoria de acuerdo a valores VO_2max (mL/kg/min) y trabajo realizado (Mets). La ATS y la SEPCR gradúan la deficiencia pulmonar como: no deficiencia y deficiencia leve, moderada o grave. Éstos son respectivamente equivalentes a las clases 1, 2, 3 y 4 de la AMA.

Propuesta de evaluación de deficiencia respiratoria en México

La propuesta del grupo de trabajo de la STPS para la graduación de la deficiencia respiratoria en presencia de ERO se resume en la Tabla 18.1 y en la Figura 18.1. En general, estos procedimientos son congruentes con las recomendaciones internacionales previamente descritas. La Figura 18.1 muestra el diagrama de flujo recomendado para la evaluación funcional respiratoria en el proceso de graduación de la deficiencia respiratoria. Éste es un esquema de uso progresivo de las pruebas de acuerdo con su complejidad y por lo tanto su disponibilidad, lo que debe facilitar y optimizar su utilización. La valoración funcional y la graduación de la deficiencia respiratoria siempre deben iniciar

www.medigraphic.org.mx

Tabla 18.1: Graduación de deficiencia respiratoria.

Grado	Espirometría	Transferencia (difusión) pulmonar de monóxido de carbono	Consumo máximo de oxígeno en la prueba de ejercicio cardiopulmonar	Pronóstico	Valuación (% de incapacidad permanente)
	VEF_1 o CVF (%)	DLCO (%)	VO_2max (mL/kg/min)		
1	≥ 80	≥ 80	≥ 25	Bueno para la vida y para la función	5-10
2	65-79	65-79	20-25	Bueno para la vida y reservado para la función	11-25
3	51-64	51-64	15-20	Reservado para la vida y para la función	26-60
4	≤ 50	≤ 50	< 15	Malo para la vida y para la función	61 a 100

1. La evaluación funcional debe iniciar con espirometría como prueba de mecánica respiratoria, seguida de DLCO como prueba de intercambio gaseoso para valorar transferencia de oxígeno a nivel pulmonar. En caso de existir duda se recomienda prueba de ejercicio cardiopulmonar.
2. La incapacidad funcional es muy grave si cualquier valor de VEF_1, CVF o DLCO está por abajo del 30% del esperado o cuando la VO_2max es menor a 10 mL/kg/min.
3. El porcentaje de valuación lo determina la prueba de función respiratoria con el valor más bajo encontrado.
4. La valuación en grado 1 representa deficiencia orgánica, por ejemplo, afectación radiológica en presencia de pruebas de función respiratoria en límites normal.

con la espirometría. Si la prueba confirma un valor de VEF_1 o CVF igual o menor al 50% se determina deficiencia grave sin requerir de otras pruebas necesariamente. El segundo paso requiere valorar el intercambio de gases a nivel pulmonar con la prueba de DLCO. En la mayoría de los enfermos debe ser posible graduar el estado de deficiencia respiratoria sólo con la espirometría y la prueba de DLCO. En caso de existir duda, por resultados limítrofes y principalmente con la presencia de disnea o limitación referida excesiva para las alteraciones encontradas en la espirometría o la DLCO, es recomendable que se complete una PECP para medir el consumo máximo de oxígeno (VO_2max) y determinar de manera definitiva el grado de deficiencia.

En la Tabla 18.1 se especifican los grados de deficiencia respiratoria de acuerdo a los resultados de las PFR, el pronóstico correspondiente y el porcentaje de valuación de la deficiencia respiratoria, como lo establece la PFR. El grado de deficiencia está determinado por el valor más bajo encontrado en cualquie-

www.neumograpnic.org.mx

ra de la PFR que integran el procedimiento. Los grados propuestos son del 1 al 4, que corresponde a un estado funcional en límites normales (Grado 1) o un estado funcional disminuido en grados del 2 al 4 que proporcionalmente corresponden a una condición funcional levemente disminuida (Grado 2), moderadamente disminuida (Grado 3) o gravemente disminuida (Grado 4).

Una condición especial de evaluación de deficiencia respiratoria corresponde al asma y al síndrome de disfunción reactiva de la vía aérea. Estas enfermedades son complicadas y se han descrito recomendaciones de evaluación y graduación de acuerdo a puntajes específicos que involucran resultados de espirometría, requerimientos de medicamentos y reversibilidad en la obstrucción e hiperreactividad bronquial. Es decir, una persona con asma puede estar bien controlada y con función normal o cercana a lo normal, debido al uso de varios medicamentos inhalados y de corticosteroides sistémicos a dosis altas; sin embargo, esto implica un mayor riesgo de eventos adversos y se considera con mayor incapacidad.

Consideraciones adicionales

La evaluación funcional y la determinación de la deficiencia respiratoria por medio de las PFR se recomiendan hace muchos años. Sin embargo, la disponibilidad de las pruebas, incluyendo la espirometría, es muy limitada, mientras que la prueba de DLCO y la PCPE son casi inexistentes, aun en las instituciones encargadas de evaluar y decretar discapacidad laboral. La infraestructura física relacionada con laboratorios de referencia que funcionen como centros de valuación será una necesidad de mediano y largo plazo.

En general, existe poca difusión y enseñanza en el ambiente en las especialidades de Neumología, Medicina del Trabajo y Medicina Familiar en cuanto a la forma de evaluar la deficiencia y la discapacidad respiratoria. Como es de esperarse, la actualización de la tabla de enfermedades de origen ocupacional y de los procedimientos de valuación conlleva el reto que requiere de la creación de la infraestructura física, así como la capacitación y la formación de nuevos recursos humanos que garanticen la adecuada implementación de los procedimientos propuestos.

www.medigraphic.org.mx

Bibliografía

Historia y generalidades de espirometría

1. Hutchinson J. *On the capacity of the lungs, and on the respiratory functions, with a view of establishing a precise and easy method of detecting disease by the spirometer.* Med Chir Trans 1846;29:137-252.
2. Petty TL. *John Hutchinson's mysterious machine revisited.* Chest 2002;121(5 Suppl):219S-223S.
3. Gibson GJ. *Spirometry: then and now.* Breathe 2005;1(3):207-216.
4. Crapo RO. *Pulmonary-function testing.* N Engl J Med 1994;331(1):25-30.
5. Brown RA, Blonshine SB. *Spirometry quality: the essentials.* Old Towne, Me: Health Educator Publications; 1996.
6. Unterborn J. *Pulmonary function testing in obesity, pregnancy, and extremes of body habitus.* Clin Chest Med 2001;22(4):759-767.
7. Pérez-Padilla R, Torre-Bouscoulet L, Gochicoa-Rangel L, Vázquez-García JC. *20 años de entrenamiento en espirometría en América Latina.* Neumol Cir Torax 2017;76(1):4-6.
8. Horvath EP Jr., Frostman TO. *NIOSH spirometry workbook.* Washington, DC: Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health; 1980.
9. Pérez-Padilla JR, Vázquez-García JC. *Manual de entrenamiento en espirometría.* Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT); 2004. Disponible en: http://www.alatorax.org.
10. Vázquez-García JC, Pérez-Padilla JR. *Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el Médico.* Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT); 2007. Disponible en: http://www.alatorax.org.

www.medigraphic.org.mx

11. Vázquez-García JC, Pérez-Padilla JR. *Interpretación de la espirometría en 10 pasos. Guía de bolsillo.* Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT); 2007. Disponible en: http://www.alatorax.org.
12. Vargas-Domínguez C, Gochicoa-Rangel L, Velázquez-Uncal M, Mejía-Alfaro R, Vázquez-García JC, Pérez-Padilla R, *et al. Pruebas de función respiratoria, ¿cuál y a quién?* Neumol Cir Torax 2011;70:101-117.

Estructura y función respiratoria

1. Grippi MA, Elias JA, Fishman JA, Kotloff RM, Pack AI, Senior RM. *Fishman's pulmonary diseases and disorders.* 5th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2015.
2. Osmond DG. *Functional anatomy of the chest wall.* In: Roussos C, Macklem P. *The thorax.* New York: Marcel Dekker Inc; 1985. p. 413-444.
3. Nunn JF. *Functional anatomy of the respiratory tract.* In: *Nunn's applied respiratory physiology.* 4th ed. UK: Butterworth Heinemann; 1993. p. 13-35.
4. West JB. *Fisiología respiratoria.* 6a ed. México: Editorial Médica Panamericana; 2002.
5. Vázquez-García JC. *Fisiología respiratoria.* En: Cano-Valle F, Ibarra-Pérez C, Morales-Gómez J, editores. *Enfermedades respiratorias. Temas selectos.* Madrid, España: Elsevier; 2006. p. 29-41.
6. Vázquez-García JC, Rojas-González A. *Fisiología respiratoria.* En: Cano-Valle F, editor. *Enfermedades respiratorias.* México, DF: Méndez Editores; 2008. p. 35-50.

Estándares internacionales

1. American Thoracic Society. *Standardization of spirometry.* Am Rev Respir Dis 1979;119:831-838.
2. Hankinson JL, Gardner RM. *Standard waveforms for spirometer testing.* Am Rev Respir Dis 1982;126:362-364.
3. Quanjer PhH (ed). *Standardized lung function testing. Report working party standardization of lung function tests. European Community for Coal and Steel.* Bull Eur Physiopathol Respir 1983;19(Suppl 5):1-95.
4. American Thoracic Society. *Standardization of spirometry: 1987 update.* Am Rev Respir Dis 1987;136:1286-1296.
5. American Thoracic Society. *Standardization of spirometry. 1994 update.* Am J Respir Crit Care Med 1995;152:1107-1136.
6. Quanjer PhH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. *Lung volume and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society.* Eur Respir J 1993;6(Suppl. 16):5-40.
7. Miller MR, Crapo R, Hankinson J. *General considerations for lung function testing.* Eur Respir J 2005;26:153-161.
8. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, *et al. Standardization of spirometry.* Eur Respir J 2005;26:319-338.
9. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo R, Burgos F, Casaburi R, *et al. Interpretative strategies for lung function tests.* Eur Respir J 2005;26:948-968.
10. Crapo RO, Morris AH. *Standardized single-breath normal values for carbon monoxide diffusing capacity.* Am Rev Respir Dis 1981;123:185-189.
11. Cotes JE, Chinn DJ, Quanjer PhH, Roca J, Yernault JC. *Standardization of the measurement of transfer factor (diffusing capacity). Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society.* Eur Respir J Suppl 1993;6(Suppl. 16):41-52.
12. American Thoracic Society. *Single breath carbon monoxide diffusing capacity.* (Transfer factor). Am J Respir Cri Care Med 1995;152(6 pt 1):2185-2198.
13. Macintyre N, Crapo RO, Viegy G, Johnson DC, van der Grinten CP, Brusasco V, *et al. Standardization of single breath determination of carbon monoxide uptake of the lung.* Eur Respir J 2005;26:720-735.
14. American Thoracic Society, American Collage of Chest Physicians. *ATS/ACCP statement on cardiopulmonary*

exercise testing. Am J Respir Cri Care Med 2003;167:211-277.
15. García-Río F, Calle M, Burgos F, Casan F, del Campo F, Galdiz JB, *et al. Espirometría. Normativa SEPAR.* Arch Bronconeumol 2013;49:388-401.
16. Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK, *et al. Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report* . Am J Respir Cri Care Med 2017; 196:1463-1472.

Procedimientos del laboratorio de función pulmonar

1. Wanger J, Crapo RO, Irvin CG. *Pulmonary function laboratory management and procedures manual. A project of the American Thoracic Society.* NY: ATS.
2. American Thoracic Society. *Pulmonary function laboratory management and procedure manual.* New York: American Thoracic Society; 1998.
3. American Thoracic Society. *Quality assurance in pulmonary function laboratories.* Am Rev Respir Dis 1986;134:625-627.
4. Hankinson JL, Viola JO. *Dynamic BTPS correction factors for spirometric data.* J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1983;55(4):1354-1360.
5. Hankinson JL, Castellan RM, Kinsley KB, Keimig DG. *Effect of spirometer temperature on measurement of FEV1 shift changes.* J Occup Med 1986; 28(12):1222-1225.
6. Cooper BG. An update on contraindications for lung function testing. Thorax 2011;66(8):714-723.
7. Schlegelmilch R. *Pulmonary function testing.* In: Kramme R, Klaus-Peter H, Pozos R, editors. *Springer handbook of medical technology.* Alemania: Springer; 2011. p. 96-98.
8. Benítez-Pérez RE, Torre-Bouscoulet L, Villca-Alá N, Del-Río-Hidalgo RF, Pérez-Padilla R, Vázquez-García JC, *et al. Espirometría: recomendaciones y procedimiento.* Neumol Cir Torax 2016;75(2):173-190.
9. Vázquez-García JC, Gochicoa-Rangel L, Del Río-Hidalgo RF, Cid-Juárez S, Silva-Cerón M, Miguel-Reyes JL, *et al. Prueba de difusión pulmonar de monóxido de carbono con técnica de una sola respiración (DL,COsb). Recomendaciones y procedimiento.* Neumol Cir Torax 2016;75(2):161-172.

Valores de referencia

1. Crapo RO, Morris AH, Gardner RM. *Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations.* Am Rev Respir Dis 1981;123(6):659-664.
2. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. *Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging.* Am Rev Respir Dis 1983;127(6):725-734.
3. Coultas DB, Howard CA, Skipper BJ, Samet JM. *Spirometric prediction equations for Hispanic children and adults in New Mexico.* Am Rev Respir Dis 1988;138(6):1386-1392.
4. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. *Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society.* Eur Respir J Suppl 1993;16:5-40.
5. Shaffer BA, Samet JM, Coultas DB, Stidley CA. *Prediction of lung function in Hispanics using local ethnic-specific and external non-ethnic-specific prediction equations.* Am Rev Respir Dis 1993;147(6 Pt 1):1349-1353.
6. Enright PL, Arnold A, Manolio TA, Kuller LH. *Spirometry reference values for healthy elderly blacks. The Cardiovascular Health Study Research Group.* Chest 1996;110(6):1416-1424.
7. Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB. *Spirometric reference values from a sample of the general U.S. population.* Am J Respir Crit Care Med 1999;159(1):179-1787.
8. Pérez-Padilla JR, Regalado-Pineda J, Vázquez-García JC. *Reproducibilidad de espirometrías en trabajadores mexicanos y valores de referencia internacionales.* Salud

pública Méx 2001;43(2):113-121.
9. Pérez-Padilla R, Regalado-Pineda J, Rojas M, Catalán M, Mendoza L, Rojas R, *et al. Spirometric function in children of Mexico City compared to Mexican-American children.* Pediatr Pulmonol 2003;35(3):177-183.
10. Regalado-Pineda J, Gómez-Gómez A, Ramírez-Acosta J, Vázquez-García JC. *Efecto del tabaquismo, los síntomas respiratorios y el asma sobre la espirometría de adultos de la Ciudad de México.* Salud pública Méx 2005;47(5):327-334.
11. Torre-Bouscoulet L, Pérez-Padilla R. *Ajuste de varias ecuaciones de referencia espirométrica a una muestra poblacional en México.* Salud pública Méx 2006;48(6):466-473.
12. Pérez-Padilla R, Torre Bouscoulet L, Vázquez-García JC, Muiño A, Márquez M, López MV, *et al. Spirometry reference values after inhalation of 200 microg of salbutamol.* Arch Bronconeumol 2007;43(10):530-534.
13. Centers for Disease Control and Prevention [homepage on internet]. Atlanta: National Institute for Occupational Safety and Health Respiratory Health Division. Updated 2015 October 23; cited 2016 February 15. Spirometry Training Program. NHANES III Reference Values [about 4 screens]. Available from: http://www.cdc.gov/niosh/topics/ spirometry/nhanes.html
14. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, *et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations.* Eur Respir J 2012;40(6):1324-1343.
15 . López Jové OR, Arce SC, Chávez RW, Alaniz A, Lancellotti D, Chiapella MN, *et al. Spirometry reference values for an andean high-altitude population.* Respiratory Physiology & Neurobiology 2018, 247:133-139.
16. Vázquez-García JC, Pérez-Padilla R, Casas A, Schönffeldt-Guerrero P, Pereira J, Vargas-Domínguez C, *et al. Reference Values for the Diffusing Capacity Determined by the Single-Breath Technique at Different Altitudes: The Latin American Single-Breath Diffusing Capacity Reference Project.* Respir Care 2016;61(9):1217-1223.

Artículos especiales de referencia

1. Enright PL, Linn WS, Avol EL, Margolis HG, Gong H Jr, Peters JM. *Quality of spirometry test performance in children and adolescents: experience in a large field study.* Chest 2000;118(3):665-671.
2. Enright PL. *Surveillance for lung disease. Quality assurance using computers and a team approach.* Occup Med 1992;7(2):209-225.
3. Pérez-Padilla R, Regalado-Pineda J, Mendoza L, Rojas R, Torres V, Borja-Aburto V, *et al. Spirometric variability in a longitudinal study of school-age children.* Chest 2003;123(4):1090-1095.
4. Pérez-Padilla R, Vázquez-García JC, Márquez MN, Jardim JR, Pertuzé J, Lisboa C, *et al. The long-term stability of portable spirometers used in a multinational study of the prevalence of chronic obstructive pulmonary disease.* Respir Care 2006;51(10):1167-1171.
5. Pérez-Padilla R, Hallal PC, Vázquez-García JC, Muiño A, Máquez M, López MV, *et al. Impact of bronchodilator use on the prevalence of COPD in population-based samples.* COPD 2007;4(2):113-120.
6. Pérez-Padilla R, Vázquez-García JC, Márquez MN, Menezes AM; PLATINO Group. *Spirometry quality-control strategies in a multinational study of the prevalence of chronic obstructive pulmonary disease.* Respir Care 2008;53(8):1019-1026.
7. Perez-Padilla R, Vollmer WM, Vázquez-García JC, Enright PL, Menezes AM, Buist AS, *et al. Can a normal peak expiratory flow exclude severe chronic obstructive pulmonary disease?* Int J Tuberc Lung Dis 2009;13(3):387-393.
8. Perez-Padilla R, Fernandez R, Lopez-Varela MV, Montes de Oca M, Muiño A, Tálamo C, *et al. Airflow obstruction in never smokers in five Latin American cities: the PLATINO study.* Arch Med Res 2012;43(2):159-165.

9. Montes de Oca M, Perez-Padilla R, Tálamo C, Halbert RJ, Moreno D, Lopez MV, *et al. Acute bronchodilator responsiveness in subjects with and without airflow obstruction in five Latin American cities: the PLATINO study.* Pulm Pharmacol Ther 2010;23(1):29-35.
10. Montes de Oca M, Tálamo C, Halbert RJ, Perez-Padilla R, Lopez MV, Muiño A, *et al. Health status perception and airflow obstruction in five Latin American cities: the PLATINO study.* Respir Med 2009;103(9):1376-1382.

Pruebas de función respiratoria y enfermedad pulmonar

1. Bradley B, Branley HM, Egan JJ, Greaves MS, Hansell DM, Harrison NK, *et al. Interstitial lung disease guideline: the British Thoracic Society in collaboration with the Thoracic Society of Australia and New Zealand and the Irish Thoracic Society.* Thorax 2008;63(Suppl 5):v1-v58.
2. Martinez FJ, Flaherty K. *Pulmonary function testing in idiopathic interstitial pneumonias.* Proc Am Thorac Soc 2006;3(4):315-321.
3. Mejía M, Buendía-Roldan I, Mateos-Toledo H, Estrada A, Espinoza-Hernández M, Juárez-Hernández F, *et al. Primer consenso mexicano sobre fibrosis pulmonar idiopática.* Neumol Cir Torax 2016;75(1):32-51.
4. Caminati A, Harari S. *Which prognostic indicator should we use for clinical practice in the initial evaluation and follow-up of IIP: should we depend on PFT, HRCT or... what?* Sarcoidosis Vasc Diffuse Lung Dis 2005;22(Suppl 1):S24-S30.
5. Burakgazi AZ, Höke A. *Respiratory muscle weakness in peripheral neuropathies.* J Peripher Nerv Syst 2010;15(4):307-313.
6. Qaseem A, Wilt TJ, Weinberger SE, Hanania NA, Criner G, van der Molen T, *et al. Diagnosis and management of stable chronic obstructive pulmonary disease: a clinical practice guideline update from the American College of Physicians, American College of Chest Physicians, American Thoracic Society, and European Respiratory Society.* Ann Intern Med 2011;155(3):179-191.
7. Lin K, Watkins B, Johnson T, Rodriguez JA, Barton MB. *Screening for Chronic Obstructive Pulmonary Disease Using Spirometry: Summary of the Evidence for the U.S. Preventive Services Task Force.* Ann Intern Med 2008;148:535-543.
8. Ramírez-Venegas A, Sansores RH. *Guías para el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.* Neumol Cir Torax 2012;71(Suppl 1):1-89.
9. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global strategy for the diagnosis, management and prevention of COPD. 2017 Report. The Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, 2017. Disponible en: https://goldcopd.org/
10. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. 2018 update. Disponible en: http://www.ginasthma.org/
11. *Guía Mexicana del Asma 2017.* Neumol Cir Torax 2017;76(S1):s1-s136.
12. Ratjen F. *Cystic fibrosis.* En: Hammer J, Eber E, editors. *Pediatric pulmonary function testing.* Basel, Suzie: Karger; 2005. p. 216-217.
13. Smyth AR, Bell SC, Bojcin S, Bryon M, Duff A, Flume P, *et al. European Cystic Fibrosis Society Standards of Care: Best Practice guidelines.* J Cyst Fibros 2014;13(Suppl 1):S23-S42.
14. Kim HJ, Perlman D, Tomic R. *Natural history of idiopathic pulmonary fibrosis.* Respir Med 2015;109(6):661-670.
15. Finder JD, Birnkrant D, Carl J, Farber HJ, Gozal D, Iannaccone ST, *et al. Respiratory care of the patient with Duchenne muscular dystrophy: ATS consensus statement.* Am J Respir Crit Care Med 2004;170:456-465.
16. Bushby K, Finkel R, Birnkrant DJ, Case LE, Clemens PR, Cripe L, *et al. Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 2: implementation of multidisciplinary care.* Lancet Neurol 2010;9(2):177-189.

17. Birnkrant DJ, Bushby KM, Amin RS, Bach JR, Benditt JO, Eagle M, *et al. The respiratory management of patients with duchenne muscular dystrophy: a DMD care considerations working group specialty article.* Pediatr Pulmonol 2010;45(8):739-748.
18. Qaseem A, Snow V, Fitterman N, Hornbake ER, Lawrence VA, Smetana GW, *et al. Risk assessment for and strategies to reduce perioperative pulmonary complications for patients undergoing noncardiothoracic surgery: a guideline from the American College of Physicians.* Ann Intern Med 2006;144(8):575-580.
19. Tessy P. *Lung transplantation.* In: Le T, Khosa S, editors. *ATS Review for the pulmonary boards.* New York: American Thoracic Society; 2015. p. 396.
20. Bossi G, Cerveri I, Volpini E, Corsico A, Baio A, Corbella F, *et al. Long-term pulmonary sequelae after treatment of childhood Hodgkin's disease.* Ann Oncol 1997;8 Suppl 1:19-24.

Medicina ocupacional

1. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Ley Federal del Trabajo. 14a ed. México, DF, 2007.
2. Gulati M, Redlich CA. *Occupational lung disorders. General principles and approaches. En: Fishman AP. Pulmonary diseases and disorders.* 4th ed. New York, NY: McGraw Hill Medical; 2008. pp. 933-942.
3. Blanc PD. *Occupation and COPD: a brief review.* J Asthma 2012;49(1):2-4.
4. Organización Mundial de la Salud. *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud: CIF.* Ginebra: OMS; 2001.
5. Taiwo OA, Cain HC. *Pulmonary impairment and disability.* Clin Chest Med 2002;23(4):841-851.
6. *Evaluation of impairment/disability secondary to respiratory disorders. American Thoracic Society.* Am Rev Respir Dis 1986;133(6):1205-1209.
7. Medical Section of the American Lung Association. *Guidelines for the evaluation of impairment/disability in patients with asthma. American Thoracic Society.* Am Rev Respir Dis 1993;147(4):1056-1061.
8. Cotes JE. *Rating respiratory disability: a report on behalf of a working group of the European Society for Clinical Respiratory Physiology.* Eur Respir J 1990;3(9):1074-1077.
9. Cochiarella L, Anderson GBJ. *Guides to the evaluation of permanent impairment. The respiratory system.* 5th ed. Chicago: AMA Press; 2000.
10. Redlich CA, Tarlo SM, Hankinson JL, Townsend MC, Eschenbacher WL, Von Essen SG, *et al. Official American Thoracic Society technical standards: spirometry in the occupational setting.* Am J Respir Crit Care Med 2014;189(8):983-993.
11. Vázquez-García JC, Tornero-Applebaum F, Toral-Villanueva R, Pérez-Padilla R. *Procedimientos propuestos para la evaluación de la deficiencia en las enfermedades respiratorias ocupacionales.* Neumol Cir Torax 2017;76(3):271-284.

www.medigraphic.org.mx

Anexos

www.medigraphic.org.mx

Anexo 1.
Ejemplo de cuestionario de espirometría
Preguntas para todos los candidatos a espirometría
(relacionadas a criterios de exclusión)

Nombre: _____ Sexo: _____

Fecha de nacimiento: _____ Edad: _____ ID: _____

1. ¿Ha tenido desprendimiento de retina o una cirugía de ojos, oído, tórax (pecho) o abdomen en los últimos tres meses?
   ☐ Sí ☐ No
2. ¿Ha tenido algún ataque cardiaco o infarto al corazón en los últimos tres meses?
   ☐ Sí ☐ No
3. ¿Ha estado hospitalizado(a) por cualquier otro problema del corazón en los últimos tres meses?
   ☐ Sí ☐ No
4. ¿Le han diagnosticado recientemente tuberculosis pulmonar?
   ☐ Sí ☐ No
5. En caso de ser mujer, ¿actualmente, está embarazada?
   ☐ Sí ☐ No

Para ser llenado por el técnico
Enfermedades en hospital

6. Hemoptisis	☐ Sí	☐ No
7. Neumotórax	☐ Sí	☐ No
8. Traqueotomía	☐ Sí	☐ No
9. Sonda pleural	☐ Sí	☐ No
10. Aneurismas	☐ Sí	☐ No
11. Embolia pulmonar	☐ Sí	☐ No
12. Infarto reciente	☐ Sí	☐ No
13. Inestabilidad cardiovascular	☐ Sí	☐ No
14. Fiebre	☐ Sí	☐ No
15. Náusea o vómito	☐ Sí	☐ No
16. Embarazo avanzado	☐ Sí	☐ No
17. Embarazo complicado	☐ Sí	☐ No

Preguntas para todos los entrevistados que no tienen los criterios de exclusión y que, por lo tanto, deben hacer la espirometría

18. ¿Ha tenido alguna infección respiratoria (resfriado, gripa o catarro) en las últimas tres semanas?
    ☐ Sí ☐ No
19. ¿Ha tenido infección en el oído en las últimas tres semanas?
    ☐ Sí ☐ No
20. ¿Ha usado medicamentos inhalados o nebulizaciones con broncodilatadores en las últimas 24 horas?
    ☐ Sí ☐ No
21. ¿Ha tomado o ingerido algún medicamento broncodilatador en las últimas ocho semanas?
    ☐ Sí ☐ No
22. ¿Ha fumado en las últimas dos horas?
    ☐ Sí ☐ No
23. ¿Ha realizado algún ejercicio intenso en la última hora?
    ☐ Sí ☐ No
24. ¿Ha comido en la última hora?
    ☐ Sí ☐ No

Para ser llenado por el técnico
Frecuencia cardiaca: _____
Comentarios a la prueba: _____
_____
_____

www.neumographic.org.mx

Anexo 2.
Espirometría
Procedimiento de laboratorio de función respiratoria

1. Definición

La espirometría es una prueba de función respiratoria de tipo mecánico que mide los volúmenes o flujos pulmonares inhalados o exhalados en función del tiempo. Las principales mediciones de la espirometría son la capacidad vital forzada (CVF o FVC, por sus siglas en inglés), el volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF_1 o FEV_1), y el cálculo de la relación entre el FEV_1/FVC expresado como porcentaje. La FVC es el mayor volumen de aire, medido en litros, que se puede exhalar por la boca con máximo esfuerzo después de una inspiración máxima. El FEV_1 es el volumen de aire exhalado durante el primer segundo de la exhalación de la FVC. Asimismo, con la espirometría se puede medir el volumen espiratorio forzado en el segundo seis (FEV_6), que es el volumen de la FVC exhalado en seis segundos; se usa como equivalente de la FVC en la espirometría de consultorio conjuntamente con el cociente o relación FEV_1/FEV_6 expresado como porcentaje. Ambos parámetros se usan para definir obstrucción al flujo aéreo.

2. Utilidad

La espirometría mide el máximo volumen y flujo de aire que se puede generar durante la exhalación forzada. El flujo depende del calibre de los bronquios, de las propiedades elásticas del tórax y de los pulmones, y de la integridad de los músculos respiratorios. Las enfermedades que causan obstrucción de la vía aérea como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), las bronquiectasias y otras pueden ser evaluadas por la espirometría al determinar la disminución de los flujos respiratorios en relación al mayor volumen pulmonar ventilado (FVC). Asimismo, la espirometría permite medir el volumen, por lo que es útil para medir la restricción pulmonar. Las enfermedades restrictivas se caracterizan por disminución del volumen total de los pulmones cuando éstos están completamente inflados; a este parámetro se le denomina capacidad pulmonar total (CPT o TLC). La espirometría no permite medir la TLC, pero en ausencia de obstrucción al flujo aéreo la medición de FVC es confiable para determinar la presencia de restricción. Además, la espirometría es la prueba más importante para la valoración y el seguimiento de los individuos en alto riesgo de padecer enfermedades respiratorias, así como aquéllos ocupacionalmente expuestos y en el proceso de graduación del impedimento respiratorio.

www.medigraphic.org.mx

3. Indicaciones

La valoración objetiva de la función mecánica respiratoria se considera siempre como una

indicación general de espirometría. Las indicaciones precisas de la espirometría se enumeran como sigue:

3.1: Diagnóstica: la espirometría es la prueba estándar de oro para el diagnóstico de la obstrucción al flujo aéreo.
3.2: Escrutinio de individuos en riesgo de enfermedad pulmonar, en particular, fumadores crónicos.
3.3: Valoración del impacto de la enfermedad en la función respiratoria. La gravedad de la obstrucción correlaciona substancialmente con síntomas como la disnea y con la calidad de vida de los enfermos.
3.4: Monitorización y vigilancia de las enfermedad en intervenciones terapéuticas.
3.5: Descripción del curso de la enfermedad con fines de investigación.
3.6: Pronóstico: la espirometría es una prueba pronóstica ya que correlaciona con la esperanza de vida y predice morbimortalidad operatoria (trasplante pulmonar, resección pulmonar, cirugía en EPOC).
3.7: Salud ocupacional: vigilancia de riesgo respiratorio ocupacional y valoración de la deficiencia y discapacidad respiratoria.
3.8: Vigilancia de salud y riesgo pulmonar por toxicidad secundaria a tratamientos o medicamentos.
3.9: Salud pública: la espirometría se realiza ampliamente en estudios epidemiológicos ante diferentes exposiciones, curso de enfermedad, valoración objetiva de síntomas y para la generación de ecuaciones de valores de referencia normal.

4. Contraindicaciones

4.1: Contraindicaciones absolutas:
a. Síndrome coronario agudo
b. Inestabilidad hemodinámica
c. Tromboembolia pulmonar aguda
d. Hipertensión arterial sistémica descontrolada (presión arterial media > 130 mmHg)
e. Aneurisma aórtico mayor a 6 cm
f. Hipertensión intracraneal
g. Hemoptisis
h. Desprendimiento agudo de retina.
i. Preeclampsia

4.2: Contraindicaciones relativas:
a. Quirúrgicas: cirugía de tórax, abdomen, ojos, oído (hasta seis semanas).
b. Infecciones y riesgo de contagio: tuberculosis pulmonar activa, influenza y otras infecciones respiratorias agudas e infección de oído.
c. Otras: infarto reciente (una semana), angina estable, embarazo avanzado o complicado, salud precaria, barrera de lenguaje, neumotórax reciente (al menos dos semanas posterior a resolución) y toracocentesis reciente (menos de 24 h).

www.medigraphic.org.mx

4.3: Vigilancia especial o contraindicaciones relativas para el broncodilatador: se puede evitar el uso o requerir aprobación por parte del médico tratante en

las siguientes condiciones: hipertiroidismo, insuficiencia cardiaca y arritmias cardiacas.

5. Requerimientos de los espirómetros

El espirómetro debe reunir las recomendaciones técnicas internacionales emitidas por la Sociedad Americana del Tórax y la Sociedad Europea Respiratoria (ATS/ERS 2005), con los siguientes requerimientos mínimos:

5.1: Espirómetro de volumen o espirómetro con sensor de flujo.

5.2: La adquisición del equipo debe incluir jeringa de calibración de 3.00 L.

5.3: Capacidad mínima de medición de volumen de 0.5 a 8.00 L (con exactitud de ± 3%, medido con jeringa de 3.00 L), flujos de 0 a 14 L/s, y tiempo de registro de hasta 30 segundos.

5.4: La resistencia total para un flujo de 14 L/s, debe ser inferior a 1.5 $cmH_2O/L/s$, incluyendo las mangueras, válvulas, boquilla y filtro en línea.

5.5: Pantalla para presentación de al menos la gráfica de flujo-volumen y señales de tiempo que marquen duración de la exhalación o criterio de terminación de la maniobra espirométrica.

5.6: El programa del espirómetro debe incluir las ecuaciones de referencia de población mexicana y/o latina que incluyan Pérez Padilla, para adultos (2) y niños (3) y NHANES III que incluye niños y adultos (4) y PLATINO para personas mayores de 40 años. Asimismo, el programa del equipo debe permitir incluir otras ecuaciones formalmente publicadas.

5.7: La impresión del reporte debe incluir, información del paciente, valores de referencia, principales valores de espirometría (FVC, FEV_1, FEV_1/FVC, FEV_6 y FEV_1/FEV_6) y las gráficas de flujo volumen y volumen tiempo, para las tres maniobras de espirometría que debe incluir la prueba. Si la prueba incluye estudio con broncodilatador, el reporte debe incluir los mismos parámetros.

6. Otro equipamiento y consumibles para espirometría

6.1: Computadora e impresora, de acuerdo a requerimientos del equipo de espirometría.

6.2: Báscula, estadímetro y cinta métrica para medición de extensión de brazos, cuando se requiera.

6.3: Termómetros ambientales con una precisión de un grado Celsius.

6.4: Boquillas desechables de cartón.

6.5: Aditamentos para control de infecciones:

a. Acceso a lavado de manos y gel-alcohol.

b. Cuando se requiera (espirometría con circuito cerrado), filtros en línea desechables con eficiencia > 99% para filtración de virus, bacterias y micobacterias; espacio muerto < 100

www.medigraphic.org.mx

mL y resistencia menor 1.5 cmH_2O a un flujo de 6 L/s.

c. Guantes desechables.

d. Cubre-boca quirúrgico para protección general y cuando se requiera cubre-boca N95 con fuga menor al 10% y una eficiencia de filtrado > 95% a un flujo de 50 L/min.

e. Anteojos de protección.

6.6: Consumibles para prueba de broncodilatador:

a. Salbutamol en inhalador de dosis medida (100 μg por atomización).

b. Cámara de reservorio (espaciador) con un volumen recomendado de al menos 300 mL.

7. Instrucciones del paciente antes de la prueba

7.1: Se debe evitar tabaquismo 2 h antes de la prueba.

7.2: No se recomienda el uso de prendas restrictivas de tórax o abdomen, como chalecos, corsés o ropa muy apretada.

7.3: Si la prueba incluye respuesta al broncodilatador y el paciente usa medicamentos broncodilatadores, se debe suspender la última dosis previa a la prueba (un mínimo de 4 horas para broncodilatadores de corta duración y 12 a 24 horas para broncodilatadores de larga duración), previa autorización del médico tratante.

7.4: Los pacientes deben mantener cualquier otra medicación de base.

7.5: No se requiere de ayuno para la prueba, pero se recomienda alimentación ligera.

7.6: Se debe evitar ejercicio intenso antes de la prueba.

7.7: Se recomienda aplicar un cuestionario breve que incluya (Anexo 1):

a. Historia de tabaquismo, activo o pasado, número total de años de fumador y promedio diario de cigarros por día.

b. Historia de exposición laboral a humos o polvos, número total de años de exposición y promedio de horas por día.

c. Historia de síntomas respiratorios: disnea, sibilancias, tos y expectoración.

d. Historia de enfermedades o traumas toraco-pulmonares.

e. Contraindicaciones de espirometría.

8. Preparación del equipo antes de la prueba

8.1: Todos los componentes (mangueras, sensores, conectores, etc.) deben ser ensamblados, de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

8.2: Se debe encender el equipo y dar tiempo suficiente para el calentamiento del mismo.

8.3: La espirometría diagnóstica se debe realizar en ambientes de temperatura dentro de 17 a 40 °C.

8.4: Los espirómetros de volumen deben revisarse para fugas; con el sistema ocluido se aplica una presión mínima de 3 cmH_2O y

www.medigraphic.org.mx

no debe existir una fuga mayor a 30 mL. Una rutina práctica es conectar la jeringa de 3.00 L, ocluir el pistón del espirómetro y empujar suavemente el émbolo de la jeringa; el desplazamiento definitivo del émbolo es evidencia de fuga.

8.5: Los sensores de flujo deben limpiarse siguiendo las recomendaciones del fabricante, y deben estar libres de partículas que obstruyan el sensor.

8.6: Si el espirómetro no cuenta con termómetro interno, se requiere medición de temperatura ambiental antes de la calibración y antes de cada prueba.

8.7: El espirómetro debe estar codificado a la altitud o presión barométrica y humedad relativa promedio del sitio donde se realiza el estudio.

8.8: El espirómetro debe estar codificado con NHANES III (8 años en adelante), PLATINO (mayores de 40 años) o valores normales de población mexicana de Pérez-Padilla (niños y adultos).

9. Calibración o verificación de calibración del espirómetro

Calibración: es el procedimiento por el cual se establece una relación entre el volumen o flujo medido por el sensor y el flujo o volumen real del calibrador (jeringa). Esta maniobra se refiere a un ajuste de ganancia eléctrica del dispositivo.

Verificación de calibración: es un concepto diferente al de calibración. Este procedimiento se usa para validar que el espirómetro se encuentra dentro de los límites de calibración (exactitud), ± 3%. Si el dispositivo falla, la verificación debe repetirse. En caso de fracaso repetido, el equipo debe enviarse a mantenimiento o revisión.

Procedimiento:

9.1: Todo espirómetro debe ser calibrado o verificado en calibración diariamente para volumen, antes de realizar la prueba, al inicio de labores y cada vez que haya duda de su exactitud.

9.2: Se debe utilizar una jeringa de 3.00 L con una exactitud de ± 0.5% del volumen absoluto (15 mL). Una jeringa dañada o golpeada se debe considerar potencialmente descalibrada y no debe usarse para este procedimiento.

9.3: Se debe asegurar una conexión firme y hermética entre jeringa y el espirómetro, especialmente, cuando no se utilice la jeringa original del equipo.

9.4: La rutina de calibración debe seguir las recomendaciones del fabricante. Verificar que en la calibración se sigan las recomendaciones del fabricante para cada equipo. La mayoría de los espirómetros actuales tienen menús especiales en el programa, para realizar y almacenar los datos de calibración.

9.5: Las mediciones de calibración deben fluctuar entre 2.91 y 3.09 L (variación de 3%). Sin embargo, es recomendable que oscilen entre 2.95 y 3.05 L (variación de 50 mL).

www.neumologia.org.mx

10. Preparación del paciente para la prueba

10.1: El técnico que realiza la prueba recibe y se presenta con el paciente.

10.2: Se debe revisar la solicitud médica y se confirma el nombre completo y el número de registro.

10.3: El técnico explica al paciente el objetivo de la prueba. La frase más sencilla recomendada es la siguiente:

"La espirometría es una prueba de soplar que sirve para medir el tamaño de los pulmones y saber si existe o no obstrucción de sus bronquios."

10.4: Se deben revisar las contraindicaciones de la prueba. Todas las contraindicaciones de la espirometría son relativas. Si el técnico en función detecta una de ellas debe evitar realizar la prueba o comunicarlo al supervisor médico para que éste evalúe y supervise la ejecución de la misma.

10.5: Se registra el consumo de tabaco, el ejercicio físico intenso antes de la prueba y el uso de broncodilatadores.

10.6: La estatura se mide en cm y con el individuo sin zapatos, en posición completamente erecta, talones juntos y mirando al frente. Para la medición de estatura es recomendable el uso de estadímetros. En los pacientes que no puedan mantenerse de pie o sufran de deformidad de caja torácica, se puede usar la extensión de los brazos como una estimación de la estatura. Se solicita al paciente que extienda al máximo los brazos en direcciones opuestas. Se mide la extensión entre el extremo de los dedos medios de cada mano. La estatura se estima para hombres como extensión de brazos en cm dividido entre 1.03 y para mujeres dividida entre 1.01.

10.7: El peso se mide en una báscula calibrada y se registra en kilogramos en unidades cerradas al 0.5 kg más cercano. El peso no es utilizado en la mayoría de las ecuaciones de referencia para calcular valores normales, pero es útil para fines de interpretación.

10.8: La edad se registra en años cumplidos al día de la prueba.

10.9: La prueba debe realizarse con el sujeto sentado por razones de seguridad, para evitar caídas por síncope. Se debe utilizar sillas sin ruedas y con soporte para brazos. Se coloca al sujeto sentado con el tórax y cuello en posición recta y con ambos pies apoyados sobre el piso. Si se utiliza una posición diferente, ésta debe registrarse.

11. Maniobra de espirometría de circuito cerrado

11.1: Confirmar la posición correcta del sujeto o paciente.

www.neumographic.org.mx

11.2: Colocar la cabeza ligeramente elevada y explicar que esta posición debe mantenerse durante todo el esfuerzo espiratorio.

11.3: Se debe usar pinza nasal limpia, lo que evita que el individuo vuelva a inhalar por la nariz durante la maniobra.

11.4: Siempre debe usarse una boquilla con filtro nueva en cada paciente. El técnico explica y demuestra cómo colocarse la boquilla; sujetándola con los dientes (sin morderla), sellándola con los labios y sin obstruirla con la lengua.

11.5: El técnico demuestra la maniobra espiratoria. Colocándose la boquilla, resalta los pasos de máxima inspiración y máxima espiración con inicio explosivo y exhalación sostenida.

11.6: Se asegura que el sujeto o paciente se coloca adecuadamente la boquilla.

11.7: Después de una o dos respiraciones normales (en volumen corriente) se indica que se realice inspiración rápida y máxima, < 1 segundo, hasta llegar a capacidad pulmonar total.

11.8: Se indica que el inicio de la exhalación debe ser explosivo (con máximo esfuerzo) y se estimula **vigorosamente** ("siga soplando", "mantenga el esfuerzo", etc.) hasta que se alcance un criterio de terminación (más de seis segundos de exhalación y meseta de un segundo sin incremento de volumen en la curva volumen tiempo (ver criterios de aceptabilidad y repetibilidad).

11.9: Nuevamente, se pide que realice una inspiración máxima, rápida y completa, hasta llegar nuevamente a la capacidad pulmonar total.

11.10: En caso de una maniobra fallida, se deben repetir las instrucciones y la demostración de la prueba.

11.11: Se requiere completar un mínimo de tres buenos esfuerzos que llenen criterios de aceptabilidad, para ello generalmente no se necesita realizar más de ocho maniobras.

11.12: Se deben revisar los criterios de repetibilidad y si es necesario se pueden completar hasta 15 maniobras para alcanzar éstos.

12. Maniobra de espirometría de circuito abierto

12.1: Confirmar la posición correcta del sujeto o paciente.

12.2: Colocar la cabeza ligeramente elevada y explicar que esta posición debe mantenerse durante todo el esfuerzo espiratorio.

12.3: El técnico explica y demuestra cómo colocarse la boquilla; sujetándola con los dientes (sin morderla), sellándola con los labios y sin obstruirla con la lengua.

12.4: El técnico demuestra la maniobra espiratoria; resalta los pasos de máxima inspiración, colocación de la boquilla y realización de la espiración con inicio explosivo y exhalación máxima sostenida.

12.5: Sin tener la boquilla puesta, se indica que se realice inspiración rápida y máxima, < 1 segundo, hasta llegar a capacidad pulmonar total.

12.6: Se solicita que el individuo se coloque adecuadamente la boquilla y se indica

www.medigraphic.org.mx

el inicio de exhalación el cual debe ser explosivo (con máximo esfuerzo) y se estimula **vigorosamente** ("siga soplando", "mantenga el esfuerzo", etc.) hasta que se alcance un criterio de terminación (más de seis segundos de exhalación y meseta de un segundo sin incremento de volumen en la curva volumen tiempo (ver criterios de aceptabilidad y repetibilidad).

12.7: Se indica que se retire de la boquilla para inhalar nuevamente.

12.8: En caso de una maniobra no aceptable, se deben repetir las instrucciones y la demostración de la prueba.

12.9: Se requiere completar un mínimo de tres buenos esfuerzos que llenen criterios de aceptabilidad, para ello generalmente no se requiere realizar más de ocho maniobras.

12.10: Se deben revisar los criterios de repetibilidad y si es necesario se pueden realizar hasta 15 maniobras.

Revisión de resultados

13. Criterios de aceptabilidad (durante la prueba)

Las maniobras individuales de espirometría son aceptables si:

13.1: Inicio es adecuado:

a. Volumen extrapolado < 0.15 L o 5% FVC.
b. Elevación abrupta y vertical en la curva flujo-volumen.

13.2: Libre de artefactos:

a. Sin terminación temprana
b. Sin esfuerzo variable
c. Sin tos
d. Sin cierre glótico
e. Sin exhalaciones repetidas
f. Sin obstrucción en boquilla o fuga alrededor de la misma
g. Sin errores de línea de base (sensores de flujo)
h. Sin fugas en el sistema (espirómetros de volumen)

13.3: Terminación adecuada:

a. Sin cambios > 0.025 L por al menos un segundo en la curva volumen-tiempo y el sujeto ha exhalado al menos tres segundos (< 10 años) o seis segundos (≥ 10 años).
b. El sujeto no puede continuar exhalando o se niega a hacerlo.

14. Valoración de repetibilidad

Repetibilidad es la mayor coincidencia entre resultados obtenidos de mediciones sucesivas que implican mismo método, mismo observador, mismo instrumento, mismo lugar, misma condición, y repetidas sobre un periodo corto de tiempo. El término repetibilidad es nuevo en los estándares actuales de la ATS/ERS. Previamente, este concepto se había denominado como reproducibilidad, pero ha sido cambiado para coincidir con los criterios de control de calidad de ISO.

Reproducibilidad es la mayor coincidencia entre resultados de mediciones sucesivas que

www.medigraphic.org.mx

implican diferentes condiciones como método de medición, observador, instrumento, lugar, condiciones de uso y tiempo.

Usando estas definiciones, si un técnico realiza varias maniobras consecutivas de FVC está buscando la repetibilidad de la prueba. En contraste, si un sujeto recibe broncodilatador y la prueba se repite 20 minutos después, el observador necesita conocer la reproducibilidad de la prueba para juzgar esta comparación.

14.1: Uso recomendado del criterio de repetibilidad:

a. El criterio de repetibilidad debe ser utilizado durante la realización de la espirometría sólo para decidir si se necesitan más de tres maniobras aceptables de FVC.
b. Ocho maniobras es un límite práctico para alcanzar repetibilidad de la prueba en la mayoría de los sujetos, pero algunas personas pueden requerir más de ocho esfuerzos (hasta 15 maniobras).
c. En pacientes con hiperreactividad bronquial las maniobras repetidas de FVC pueden causar disminución de los flujos. Una caída progresiva de más del 20% de FEV_1 o FVC es criterio de terminación de la prueba.
d. El criterio de repetibilidad no se usa para excluir maniobras del reporte o excluir sujetos de un estudio.
e. La mayoría de las personas son capaces de alcanzar una repetibilidad para FVC y $FEV_1 < 150$ mL, pero se recomienda que cuando el volumen pulmonar es pequeño (FVC < 1.00 L), generalmente en enfermos graves o niños, la repetibilidad sea de < 100 mL.
f. Las maniobras con inicio inadecuado o tos deben excluirse para repetibilidad.
g. Los esfuerzos con terminación temprana o cierre de glotis pueden ser usados para obtener el mayor valor de FEV_1.
h. **Ninguna maniobra de FVC debe ser descartada de la prueba solo con base en pobre repetibilidad.**
i. La pruebas con pobre repetibilidad o que no cumplen con una terminación adecuada de la espiración deben ser evaluadas a discreción del profesional responsable de la interpretación.

15. Reporte de espirometría

El contenido del reporte de espirometría depende del programa del espirómetro. Es recomendable que incluya la información suficiente para evaluar la calidad de la prueba, así como una interpretación estandarizada. Éste debe incluir los siguientes componentes:

15.1: Nombre completo del paciente.
15.2: Parámetros antropométricos (edad, género, peso y estatura).
15.3: Origen de los valores de referencia.
15.4: Los valores de tres maniobras aceptables de la espirometría: FVC, FEV_1 y PEF en

www.medigraphic.org.mx

unidades (L o L/s) con dos decimales, y relación FEV_1/FVC en porcentaje con un decimal. Según sea el caso también se pueden incluir FEV_6 y FEV_1/FEV_6. Con valores absolutos y en porcentaje del predicho.

15.5: Las tres gráficas de volumen-tiempo y flujo-volumen.

15.6: Otros parámetros opcionales son: fecha de última calibración, datos ambientales y algoritmo de interpretación.

16. Proceso de interpretación básica

16.1: Graduación de calidad. Se debe comentar si las tres maniobras son aceptables y si la prueba es repetible. Es recomendable definir el grado de calidad de la prueba, como sigue (no estándar ATS/ERS):

Tabla 1: Grados de calidad de la espirometría.

Grado	Maniobras aceptables	Repetibilidad (FVC y FEV_1)	Comentario sobre la calidad de la prueba
A	3	< 150 mL	Técnicamente muy confiable
B	3	< 200 mL	Técnicamente confiable
C	2	< 200 mL	Técnicamente aceptable
D	2	> 200 mL	Técnicamente con reserva
E	1		Técnicamente no recomendable
F	0		Técnicamente no recomendable

16.2: Identificación del patrón ventilatorio:

a. **Normal:** FEV_1/FVC > límite inferior normal (LIN). El LIN está definido por la percentil 5, de acuerdo a los valores de referencia NHANES III (Tabla 2). Además, la FVC debe estar arriba del 80% del valor predicho.

Tabla 2: Límite inferior normal para la relación FEV_1/FVC.

Edad	Relación FEV_1/FVC	
	Mujeres	Hombres
40	72	70
50	70	68
60	67	66
70	65	64
80	63	62

b. **Patrón obstructivo:** relación FEV_1/FVC < LIN. Además, se debe graduar la gravedad de obstrucción, de acuerdo a las recomendaciones ATS/ERS:

- FEV_1 %p: > 70% = obstrucción leve.
- FEV_1 %p: 60-69% = obstrucción moderada.
- FEV_1 %p: 50-59% = obstrucción moderadamente grave.
- FEV_1 %p: 35-49% = obstrucción grave.
- FEV_1 %p: < 35% = obstrucción muy grave.

raphic.org.mx

c. **Patrón compatible con restricción:** relación $FEV_1/FVC \geq$ LIN y FVC $<$ 80%. Además se debe graduar la gravedad de la disminución de la FVC, de acuerdo a las recomendaciones ATS/ERS:
   - FVC %p: 70-79% = restricción leve.
   - FVC %p: 60-69% = restricción moderada.
   - FVC %p: 50-59% = restricción moderadamente grave.
   - FVC %p: 35-49% = restricción grave.
   - FVC %p: $<$ 35% = restricción muy grave.

www.medigraphic.org.mx

Anexo 3.
Ejercicios de interpretación espirométrica

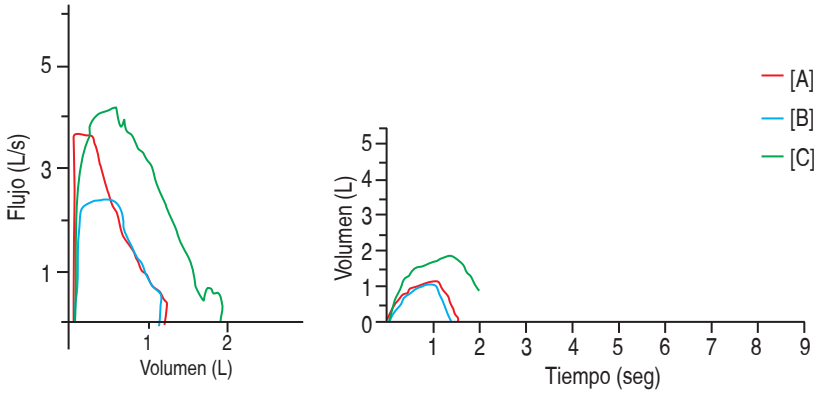
El presente apartado está diseñado para que el alumno complete un taller de interpretación de espirometrías. Los ejercicios pueden ser contestados por el alumno previo al taller o pueden completarse durante el mismo. Las respuestas se encuentran al final del capítulo.

Ejercicio 1.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

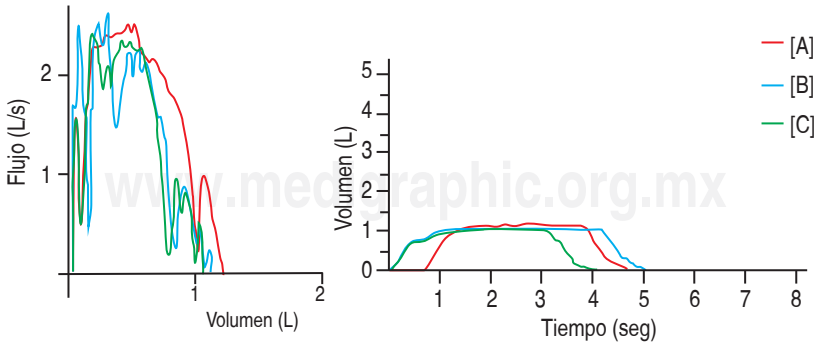


Ejercicio 2.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____



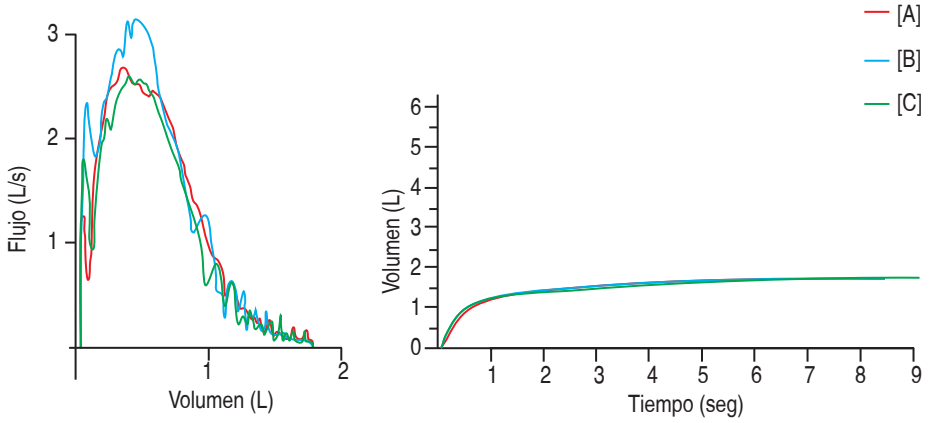
www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 3.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

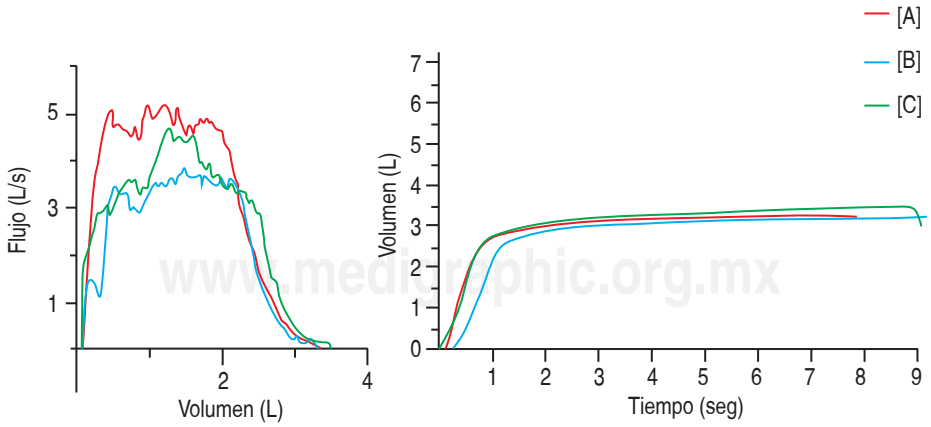


Ejercicio 4.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____



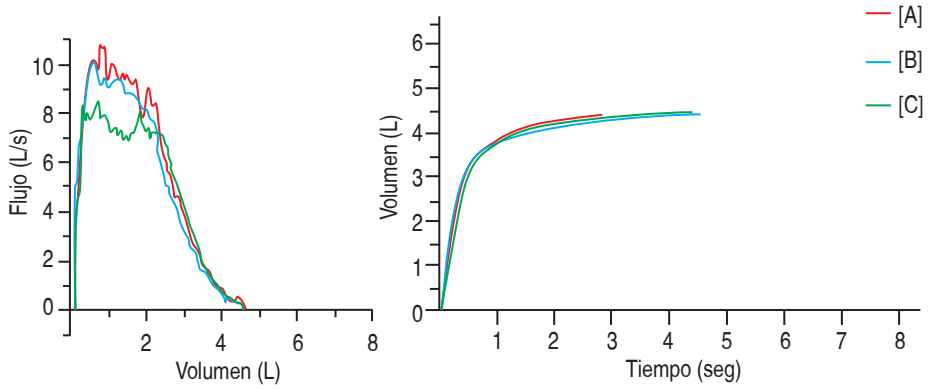
www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 5.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

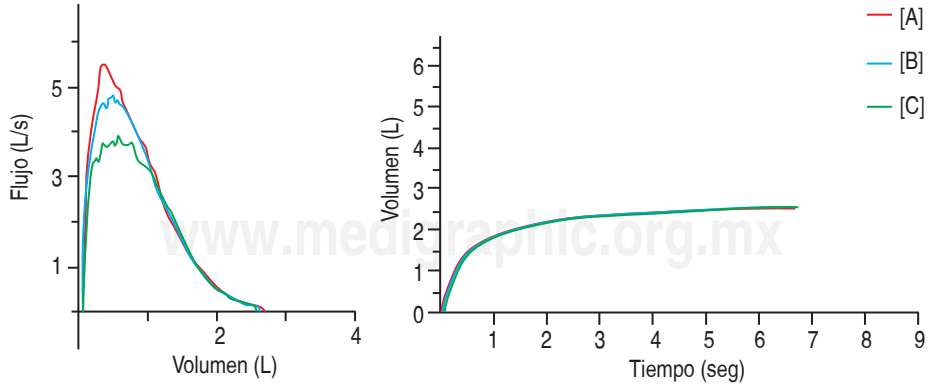


Ejercicio 6.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____



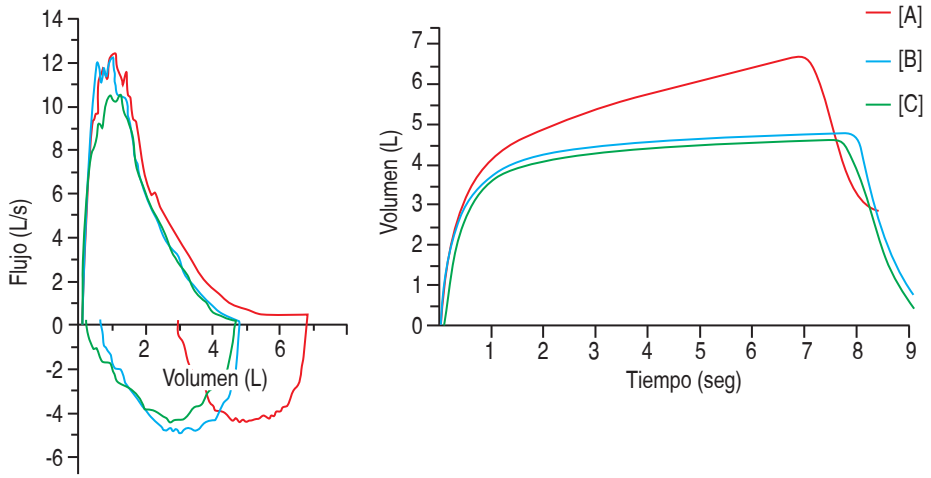
www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 7.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

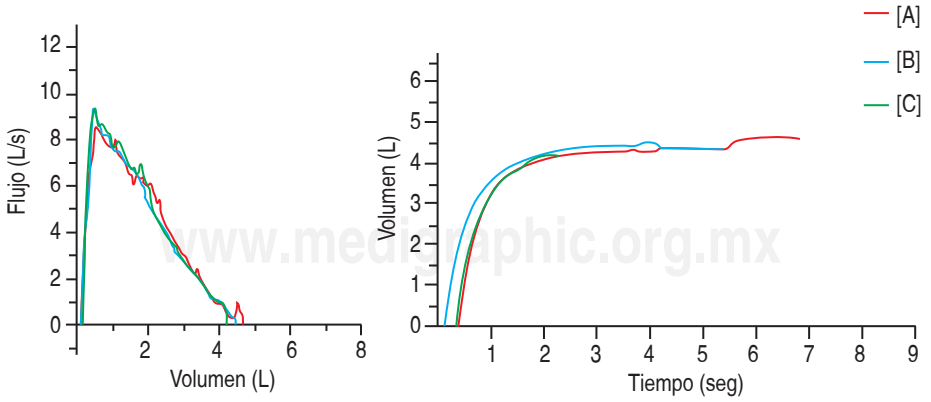


Ejercicio 8.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____



www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 9.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

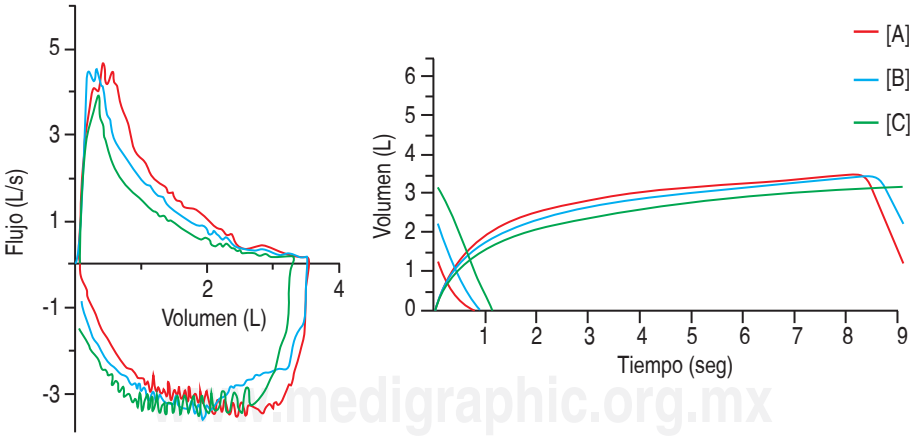
II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

III. Escriba los parámetros que debe cumplir el criterio de repetibilidad y anote la variabilidad que existe en el ejemplo:

1. _____ 2. _____ 3. _____

Parámetro	Maniobra [A] Actual	Maniobra [B] Actual	Maniobra [C] Actual
FVC	3.54 L	3.51 L	3.27 L
FEV_1	2.02 L	1.81 L	1.58 L
FEV_1/FVC	57.0%	51.6%	48.3%
PEF	4.59 L/s	4.48 L/s	3.87 L/s

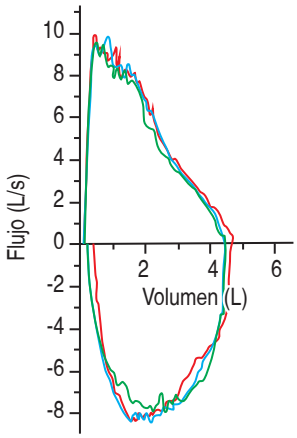


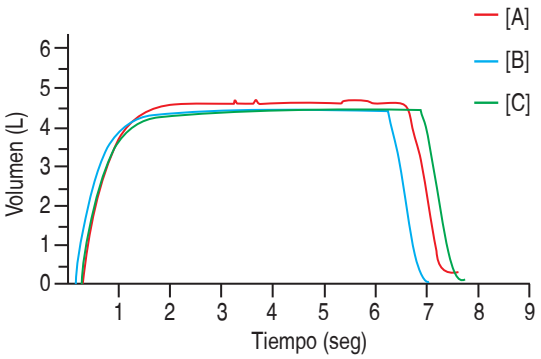
www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 10.

Calcule los valores como porcentaje del predicho para las tres maniobras de la espirometría.

Parámetro	Predichos (P-Padilla)	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	%Predicho
FVC	4.78 L	4.76 L		4.57 L		4.56 L	
FEV_1	4.25 L	41.18 L		4.09 L		4.05 L	
FEV_1/FVC	89.8%	87.8%		89.5 L		88.9%	
PEF	9.50 L/s	9.75 L/s		9.68 L/s		9.43 L/s	





www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 11.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

III. ¿Es una espirometría repetible? Sí ☐ No ☐

IV. Escriba los parámetros que debe cumplir el criterio de repetibilidad y anote su variabilidad:

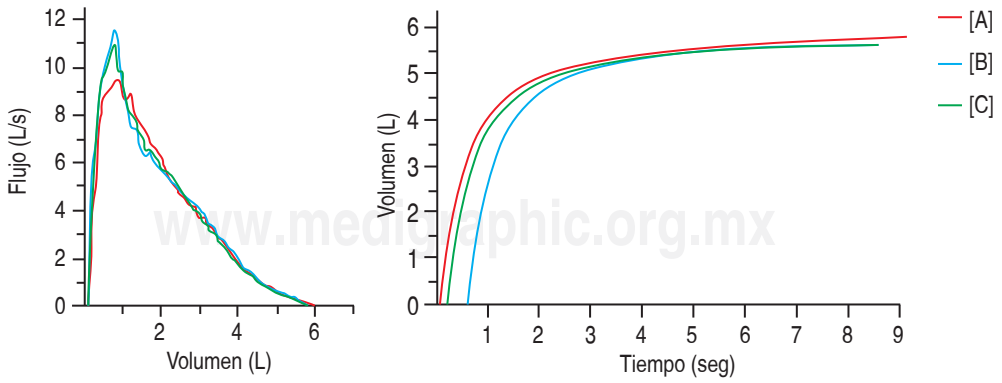
_____

V. Comente el grado de calidad de la prueba: _____

VI. Escriba su interpretación: _____

Sexo: Masculino
Edad: 27 años
Peso: 81 kg
Estatura: 173 cm

		Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
Parámetro	Predichos	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	5.45 L	5.97 L	109.5	5.88 L	107.9	5.79 L	106.2
FEV_1	4.71 L	4.21 L	88.6	4.25 L	90.2	4.17 L	88.5
FEV_1/FVC	87.4%	70.5%	80.7	72.2%	82.6	72.1%	82.5
PEF	10.3 L/s	9.38 L/s	91.1	11.4 L/s	110.6	10.8 L/S	104.8



www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 12.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

III. ¿Es una espirometría repetible? Sí ☐ No ☐

IV. Escriba los parámetros que debe cumplir el criterio de repetibilidad y anote su variabilidad:

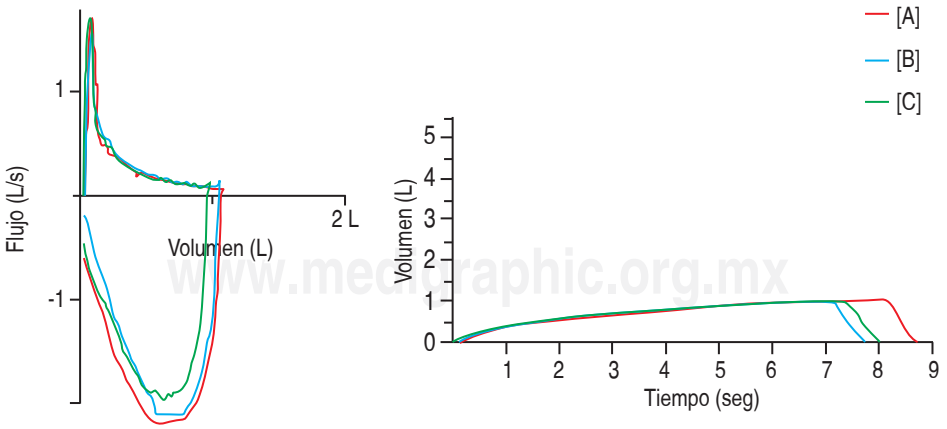
_____

V. Comente el grado de calidad de la prueba: _____

VI. Escriba su interpretación: _____

Sexo: Femenino
Edad: 64 años
Peso: 59 kg
Estatura: 153 cm

Parámetro	Predichos P-Padilla	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	2.61 L	1.07 L	41.0	1.05 L	40.2	0.98 L	37.5
FEV_1	2.05 L	0.42 L	20.5	0.43 L	21.0	0.41 L	20.0
FEV_1/FVC	79%	38.7%	49.0	41.1%	52.0	42.4%	53.7
PEF	5.90 L/s	1.72 L/s	29.2	1.25 L/s	21.2	1.68 L/s	28.5



www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 13.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

III. ¿Es una espirometría repetible? Sí ☐ No ☐

IV. Escriba los parámetros que debe cumplir el criterio de repetibilidad y anote su variabilidad:

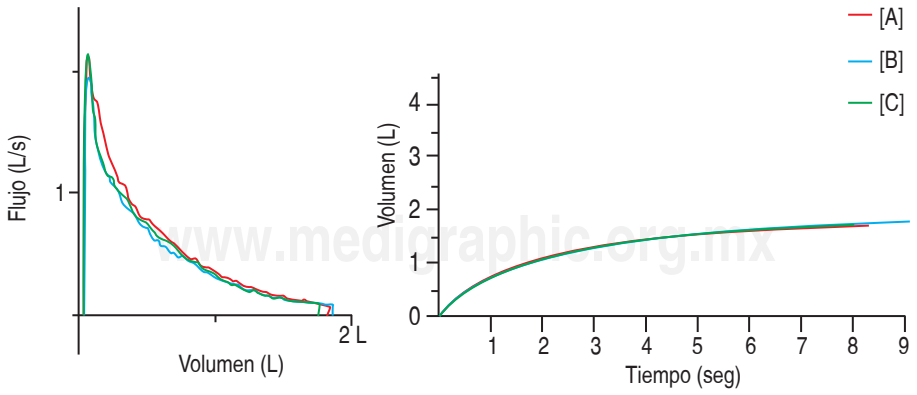
_____

V. Comente el grado de calidad de la prueba: _____

VI. Escriba su interpretación: _____

Sexo: Femenino
Edad: 74 años
Peso: 44 kg
Estatura: 150 cm

Parámetro	Predichos P-Padilla	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	2.22 L	1.83 L	82.4	1.85 L	83.3	1.76 L	79.3
FEV_1	1.69 L	0.81 L	47.9	0.76 L	45.0	0.79 L	46.7
FEV_1/FVC	77%	44.6%	57.9	41.1%	53.4	45.1%	58.6
PEF	5.28 L/s	2.06 L/s	39.2	2.11 L/s	40.0	2.13 L/s	40.3



www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 14.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

III. ¿Es una espirometría repetible? Sí ☐ No ☐

IV. Escriba los parámetros que debe cumplir el criterio de repetibilidad y anote su variabilidad:

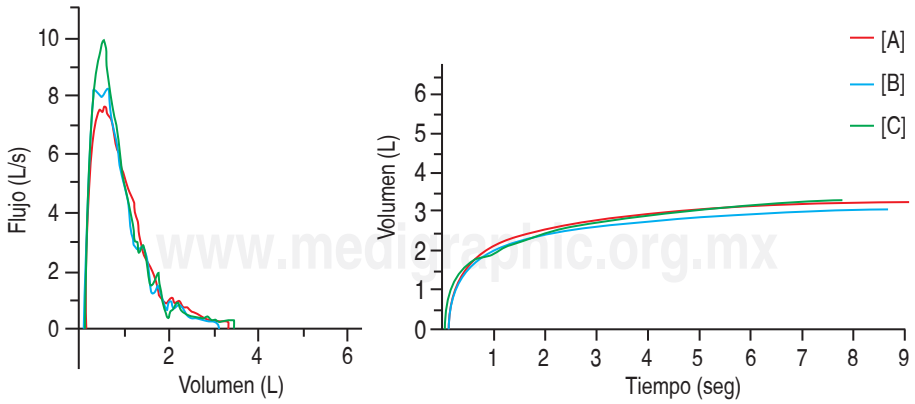
_____

V. Comente el grado de calidad de la prueba: _____

VI. Escriba su interpretación: _____

Sexo: Masculino
Edad: 72 años
Peso: 65 kg
Estatura: 176 cm

Parámetro	Predichos P-Padilla	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	4.23 L	3.34 L	79.0	3.12 L	73.8	3.40 L	80.4
FEV_1	3.18 L	2.20 L	69.2	2.05 L	64.5	1.99 L	62.6
FEV_1/FVC	76%	65.9%	86.7	65.7%	86.4	58.9%	77.5
PEF	8.81 L/s	7.53 L/s	85.5	8.13 L/s	92.3	9.84 L/s	111.7



www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 15.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumplen o no.

1. Inicio: _____
2. Término: _____
3. Artefactos: _____

III. ¿Es una espirometría repetible? Sí ☐ No ☐

IV. Escriba los parámetros que debe cumplir el criterio de repetibilidad y anote su variabilidad:

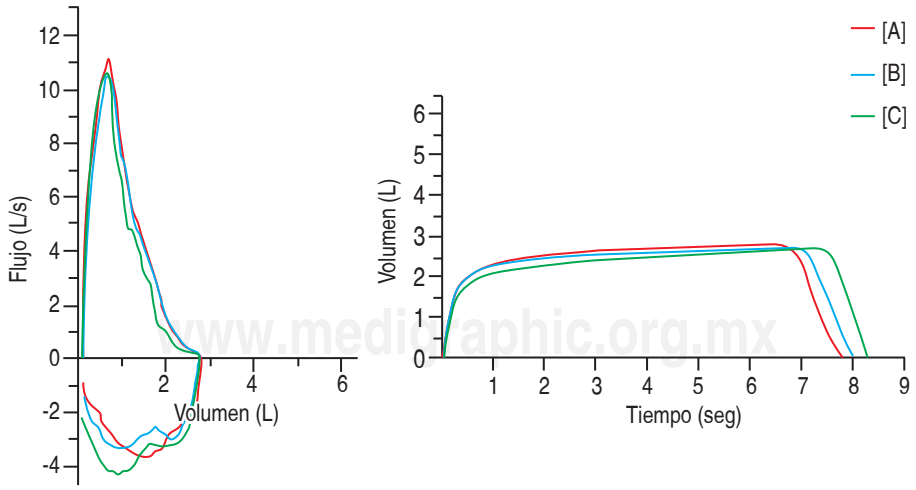
_____

V. Comente el grado de calidad de la prueba: _____

VI. Escriba su interpretación: _____

Sexo: Masculino
Edad: 53 años
Peso: 120 kg
Estatura: 170 cm

Parámetro	Predichos P-Padilla	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	4.46 L	2.88 L	64.6	2.79 L	62.6	2.78 L	62.3
FEV_1	3.54 L	2.37 L	66.9	2.34 L	66.1	2.15 L	60.7
FEV_1/FVC	80%	82.2%	102.8	83.8%	104.8	77.3%	96.6
PEF	9.50 L/s	10.99 L/s	115.7	10.4 L/s	109.7	10.50 L/s	110.5



www.medigraphic.org.mx

Ejercicio 16.

I. Anote el cambio en volumen y en porcentaje del FEV_1 y la FVC que se registró posterior a la administración del broncodilatador.

Cambio en FEV_1 mL: _____ Cambio en FVC mL: _____

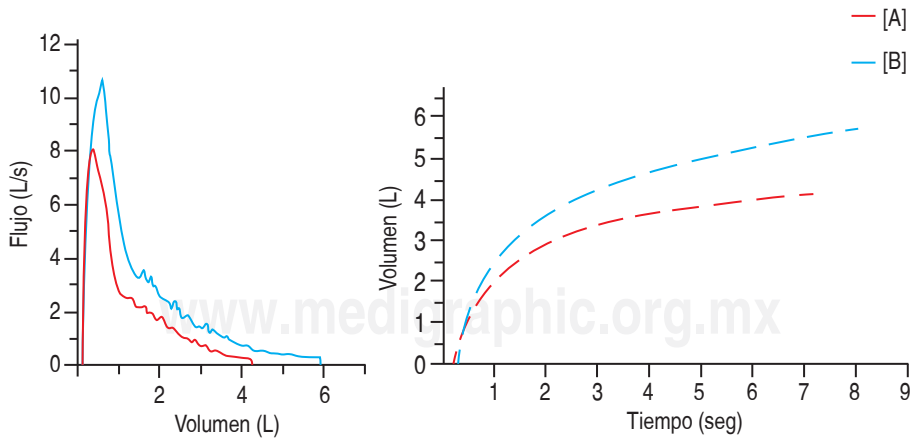
Cambio en FEV_1 %: _____ Cambio en FVC en %: _____

II: ¿Existe respuesta significativa al broncodilatador? Sí ☐ No ☐

III. Escriba su interpretación: _____

Sexo: Masculino
Edad: 49 años
Peso: 86 kg
Estatura: 185 cm

Parámetro	Predichos P-Padilla	Basal [A]		Post-bronc. [B]		Cambio	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Cambio
FVC	5.38 L	4.30 L	79.9	5.89 L	109.5		
FEV_1	4.26 L	2.39 L	56.1	2.99 L	70.2		
FEV_1/FVC	81%	55.6%	68.6	50.8%	62.7		
PEF	10.87 L/s	8.01 L/s	73.7	10.6 L/s	97.5		



www.medigraphic.org.mx

Anexo 3 Respuestas

Ejercicio 1.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ■ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.

1. Inicio: inadecuado. Esfuerzos submáximos o variables, no alcanza flujo máximo (flujo pico).
2. Terminación: incompleto. Todos los esfuerzos no alcanzan meseta y son < 6 s.
3. Artefactos: terminación temprana y esfuerzos variables.

Ejercicio 2.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ■ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.

1. Inicio: inadecuado no alcanza flujo máximo (flujo pico). Oscilaciones en flujo.
2. Terminación: incompleto. Todos los esfuerzos son < 6 segundos.
3. Artefactos: esfuerzos variables, presencia de tos, terminación temprana

Ejercicio 3.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ■ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.

1. Inicio: existen falsos inicios en todas las curvas.
2. Terminación: completa (meseta > 1 segundo y duración total > 6 segundos).
3. Artefactos: falsos inicios en la curva FV.

Ejercicio 4.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ■ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.

1. Inicio: esfuerzos variables o submáximos en todas las curvas (no hay flujo pico).
2. Terminación: completa (meseta > 1 segundo y duración total > 6 segundos).
3. Artefactos: esfuerzos variables en la curva FV.

Ejercicio 5.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ■ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

www.neumologia.org.mx

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.

1. Inicio: no hay flujo pico en una curva [C].
2. Terminación: incompleta. No hay meseta y todas duran < 6 segundos.
3. Artefactos: terminación temprana (todas) y una [C] con esfuerzo variables en la gráfica FV.

Ejercicio 6.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ■ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio: variable o submáximo en una curva [C].
   2. Terminación: completa en todas, meseta de 1 segundo y duración > 6 s.
   3. Artefactos: esfuerzos variables en una curva flujo-volumen.

Ejercicio 7.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ■ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio: adecuados. Forma triangular de la curva FV, inicio vertical y generación de flujo pico.
   2. Terminación: las curvas B y C con meseta de 1 segundo y duración > 6 s. La curva A no cumple criterio de terminación.
   3. Artefactos: curva A con artefacto por falsa línea de base.

Ejercicio 8.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ■ 2 ☐ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio: adecuado en todas, curva FV de forma triangular con generación de flujo pico.
   2. Terminación: las curvas B y C con terminación temprana (< 6 s).
   3. Artefactos: la curva A con artefacto por doble exhalación en curva VT.

Ejercicio 9.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ■ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio: adecuado. Curvas FV de forma triangular con generación de flujo pico.
   2. Terminación: duran más de 6 segundos, pero no alcanzan meseta.
   3. Artefactos: no se observan.

www.medigraphic.org.mx

III. Escriba los parámetros que deben cumplir el criterio de repetibilidad y su variabilidad.
   1: FVC: 3.54 – 3.51 = 0.03 L (30 mL): repetible.
   2: FEV_1: 2.02 – 1.81 = 0.21 L (210 mL): no repetible.

Ejercicio 10.

Calcule los valores por porcentaje del predicho para las tres maniobras espirométricas.

Parámetro	Predichos (P-Padilla)	Maniobra [A]		Maniobra [B]		Maniobra [C]	
		Actual	% Predicho	Actual	% Predicho	Actual	% Predicho
FVC	4.78 L	4.76 L	99.6	4.57 L	95.6	4.56 L	95.4
FEV_1	4.25 L	4.18 L	98.4	4.09 L	96.2	4.05 L	95.3
FEV_1/FVC	89.8%	87.8%	97.7	89.5%	99.7	88.9%	99.0
PEF	9.50 L/s	9.75 L/s	97.4	9.68 L/s	101.8	9.43 L/s	99.3

Ejercicio 11.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ■ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio adecuado. Curvas FV de forma triangular con generación de flujo pico y descenso regular.
   2. Terminación adecuada. Duran más de 6 segundos con meseta mayor a 1 segundo.
   3. No se observan artefactos.

III. ¿Es una espirometría? Sí

IV. Escriba los parámetros que deben cumplir el criterio de repetibilidad y anote su variabilidad.
   1. FVC: 5.97 – 5.88 = 0.11 L (110 mL), repetible.
   2. FEV_1: 4.25 – 4.21 = 0.04 L (40 mL), repetible.

V: Calidad de la prueba: grado de calidad A. Muy aceptable y muy repetible. Tres maniobras aceptables con variabilidad en FEV_1 y FVC menor a 150 mL.

VI. Interpretación: espirometría normal (FEV_1/FVC y FVC dentro de límites normales).

Ejercicio 12.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ■ 3

II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no.
   1. Inicio adecuado. Curvas FV de forma triangular con generación de flujo pico y descenso regular.
   2. Terminación adecuada. Duran más de 6 segundos con meseta mayor a 1 segundo.
   3. No se observan artefactos.

III. ¿Es una espirometría repetible? Sí

www.medigraphic.org.mx

IV. Escriba los parámetros que deben cumplir el criterio de repetibilidad y anote su variabilidad.
   1. FVC: 1.07 – 1.05 = 0.02 L (20 mL), repetible.
   2. FEV_1: 0.43 – 0.42 = 0.01 L (10 mL), repetible.
V. Calidad de la prueba: grado de calidad A. Muy aceptable y muy repetible. Tres maniobras aceptables con variabilidad en FEV_1 y FVC menor a 150 mL.
VI. Interpretación: obstrucción muy grave al flujo aéreo (relación FEV_1/FVC baja de 39% con FEV_1 de 20.5% del predicho).

Ejercicio 13.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ■ 3
II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio adecuado. Curvas FV de forma triangular con generación de flujo pico y descenso regular.
   2. Terminación adecuada. Duran más de 6 segundos con meseta mayor a 1 segundo.
   3. No se observan artefactos.
III. ¿Es una espirometría repetible? Sí
IV. Escriba los parámetros que deben cumplir el criterio de repetibilidad y su variabilidad.
   1. FVC: 1.85 – 1.83 = 0.02 L (20 mL), repetible.
   2. FEV_1: 0.81 – 0.79 = 0.02 L (20 mL), repetible.
V. Calidad de la prueba: grado de calidad A. Muy aceptable y muy repetible. Tres maniobras aceptables con Variabilidad en FEV_1 y FVC menor a 150 mL.
VI. Interpretación: Obstrucción grave al flujo aéreo (Relación FEV_1/FVC baja de 45% con FEV_1 de 48% del predicho y FVC normal).

Ejercicio 14.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ■ 3
II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio adecuado. Curvas FV de forma triangular con generación de flujo pico y descenso regular.
   2. Terminación adecuada. Duran más de 6 segundos con meseta mayor a 1 segundo.
   3. No se observan artefactos.
III. ¿Es de una espirometría repetible? Sí
IV. Escriba los parámetros que deben cumplir el criterio de repetibilidad y su variabilidad.
   1. FVC: 3.40 – 3.34 = 0.06 L (60 mL), repetible.
   2. FEV_1: 2.20 – 2.05 = 0.15 L (150 mL), repetible.

www.medigraphic.org.mx

V. Calidad de la prueba: grado de calidad A. Muy aceptable y muy repetible. Tres maniobras aceptables con variabilidad en FEV_1 y FVC menor a 150 mL.
VI. Interpretación: obstrucción moderada al flujo aéreo (relación FEV_1/FVC baja de 66% con FEV_1 de 65% del predicho y FVC normal).

Ejercicio 15.

I. ¿Cuántas maniobras de la espirometría son aceptables? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ■ 3
II. Describa los criterios de aceptabilidad que cumple o no el ejemplo.
   1. Inicio adecuado. Curvas FV de forma triangular con generación de flujo pico y descenso regular.
   2. Terminación adecuada. Duran más de 6 segundos con meseta mayor a 1 segundo.
   3. No se observan artefactos.
III. ¿Es una espirometría repetible? Sí
IV. Escriba los parámetros que deben cumplir el criterio de repetibilidad y su variabilidad.
   1. FVC: 2.88 – 2.79 = 0.09 L (90 mL), repetible.
   2. FEV_1: 2.37 – 2.34 = 0.03 L (30 mL), repetible.
V. Calidad de la prueba: grado de calidad A. Muy aceptable y muy repetible. Tres maniobras aceptables con variabilidad en FEV_1 y FVC menor a 150 mL.
VI. Interpretación: sugiere restricción pulmonar (relación FEV_1/FVC normal > 80% y FVC baja de 65%).

Ejercicio 16.

I. Anote el cambio en volumen y cambio en porcentaje que se registró en el FEV_1 posterior al broncodilatador:
   1. Cambio en FEV_1: 06.0 L Cambio en FVC en mL: 1.59 L
   2. Cambio en FEV_1 en %: 25% Cambio en FVC en %: 36.9%
II. Existe respuesta significativa al broncodilatador: Sí
   Respuesta mayor a 200 mL y cambio > 12% del FEV_1 y la FVC basales.
III. Interpretación: en la espirometría basal existe obstrucción moderadamente grave al flujo aéreo (FEV_1/FVC de 56% con FEV_1 bajo de 56%). Posterior a la administración del broncodilatador, existe mejoría significativa, pero persiste con obstrucción leve.

www.medigraphic.org.mx

www.medigraphic.org.mx

Abreviaturas

ALA = Asociación Americana del Pulmón
ALAT = Asociación Latinoamericana del Tórax
AMA = Asociación Médica Americana
ATPS = AT: Temperatura ambiental *(ambient temperature)*
P: Presión barométrica o atmosférica
S: Saturado de vapor de agua
ATS = Sociedad Americana del Tórax
ATS/ERS = Sociedad Americana del Tórax y Sociedad Europea Respiratoria
BTPS = BT: Temperatura corporal *(body temperature)*
P: Presión barométrica o atmosférica
S: Saturado de vapor de agua
CFR = capacidad funcional residual
CPT = capacidad pulmonar total (o TLC, por sus siglas en inglés)
CV = capacidad vital (o VC, por sus siglas en inglés)
CVF = capacidad vital forzada (o FVC, por sus siglas en inglés)

www.medigraphic.org.mx

DE = desviación estándar
DLCO = difusión pulmonar de monóxido de carbono
ECG = electrocardiograma
EPID = enfermedad pulmonar intersticial difusa
EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica
ERO = enfermedades respiratorias de origen ocupacional
ERS = Sociedad Europea Respiratoria
ERV = volumen de reserva espiratoria *(expiratory reserve volumen)*
FEF_{25-75} = flujo espiratorio forzado 25-75
FEM = flujo pico o flujo máximo espiratorio (PEF, por sus siglas en inglés)
FEV_1 = volumen espiratorio forzado en un segundo *(forced expiratory volume in one second)*
FEV_6 = volumen espiratorio forzado en el segundo seis *(forced expiratory volume in six seconds)*
FV = flujo-volumen
FVC = capacidad vital forzada *(forced vital capacity)*
FVT = flujo-volumen-tiempo
HAS = hipertensión arterial sistémica
IM = infarto al miocardio
INER = Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México
IRV = volumen de reserva inspiratoria *(inspiratory reserve volume)*
LIN = límite inferior de normalidad
LSN = límite superior de normalidad
NIOSH = Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos
P_A = presión alveolar
P_{ATPS} = presión del espirómetro (igual a la atmosférica)
P_B = presión barométrica
P_{BTPS} = presión pulmonar (igual a la atmosférica)
PCPE = prueba cardiopulmonar de ejercicio
PEF = flujo pico o flujo máximo espiratorio *(peak expiratory flow)*
PFR = pruebas de función respiratoria
PLATINO = Proyecto Latinoamericano de Investigación en Obstrucción Pulmonar

www.medigraphic.org.mx

Ppl = presión pleural
RV = volumen residual *(residual volume)*
SEPCR = Sociedad Europea de Fisiología Respiratoria Clínica
SMNyCT = Sociedad Mexicana de Neumología y Cirugía de Tórax
SpO_2 = saturación de oxígeno por pulso-oximetría
STPS = Secretaría del Trabajo y Previsión Social
T_{ATPS} = temperatura del espirómetro o ambiental
T_{BTPS} = temperatura corporal (37 °C)
TLC = capacidad pulmonar total
TLCO = transferencia de monóxido de carbono
V_{ATPS} = volumen medido por el espirómetro (FVC o FEV_1)
V_{BTPS} = volumen pulmonar (FVC o FEV_1, que se desconocen)
VC = capacidad vital *(vital capacity)*
VCO_2 = producción de bióxido de carbono
VEF_1 = volumen espiratorio forzado en un segundo (o FEV_1, por sus siglas en inglés)
V_{in} = volumen inspiratorio
VO_2 = consumo de oxígeno
VO_2max = consumo máximo de oxígeno
VO_2pic = consumo pico de oxígeno
VR = volumen residual (o RV, por sus siglas en inglés)
VRE = volumen de reserva espiratoria (o ERV, por sus siglas en inglés)
VRI = volumen de reserva inspiratoria (o IRV, por sus siglas en inglés)
VT = volumen-tiempo
Vti = volumen corriente o tidal

www.medigraphic.org.mx

Aerosol Medical Systems