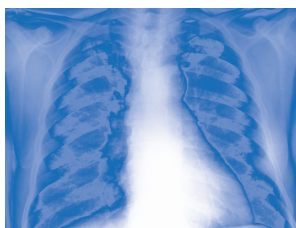


## Apéndices

### Capítulo 74

#### Control de calidad en el laboratorio de función pulmonar



WASHINGTON O. JÁUREGUI Y ORLANDO LÓPEZ-JOVE

#### INTRODUCCIÓN

A medida que se generaliza la utilización de instrumentos computarizados, el operador del laboratorio pulmonar va perdiendo la capacidad de juzgar, mediante la sola inspección, la veracidad de las prácticas que realiza. Ello incrementa el riesgo de que pasen desapercibidos algunos errores significativos. Para evitarlos, resulta de buena práctica implementar rutinariamente un control de calidad de los aparatos y la evaluación del personal y de los procedimientos.

#### CONTROL DE CALIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

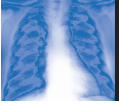
Para llevar a cabo el control de calidad del instrumental se debe contar con un dispositivo patrón que sea capaz de generar una cantidad exacta y conocida de la variable fisiológica de interés, a la que se denomina valor verdadero ( $V$ ); por ejemplo, una macrojeringa que inyecte 3.000 mililitros (ml) de aire a un espirómetro. Se comienza realizando varias mediciones consecutivas y tomando nota del conjunto de resultados ( $R_i = R_1, R_2, \dots, R_n$ ; donde  $n$  es el número de repeticiones); luego se calculan los errores porcentuales con respecto al valor verdadero ( $E_i = (R_i - V) / V \times 100$ ) y, finalmente, se obtienen la media ( $M$ ) y el desvío estándar ( $DE$ ) de los errores. Esta información permite predecir el de-

sempño del instrumento en ulteriores mediciones de campo, ya que el 95% de ellas se verá afectado por un error de  $M \pm 2 DE$  (asumiendo una distribución normal). Un instrumento perfecto presentará  $0 \pm 0\%$  de error.

El ejemplo de la tabla 1 aclarará los conceptos.

La media y el desvío estándar son denominados exactitud y precisión, respectivamente. La primera refleja la capacidad del instrumento para obtener el valor verdadero durante una medición, aun con la ayuda de repeticiones; la segunda, la virtud de obtener resultados similares en mediciones sucesivas, aunque ellos se alejen del valor verdadero. La precisión se designa "repetibilidad" cuando todos los factores vinculados (personales, atmosféricos, instrumentales, temporales, de procedimiento, entre otros) se mantienen constantes durante las repeticiones, mientras que se la designa "reproducibilidad" cuando algunos de ellos cambian.

Todos los instrumentos presentan errores cuando se los utiliza; estos errores pueden ser minimizados, pero nunca eliminados. La tarea de perfeccionamiento tiene un costo en tiempo, esfuerzo y dinero, que se justifica cuando es superado por el beneficio de contar con mediciones más certeras. Algunos errores, denominados sistemáticos, yerran el resultado en una misma dirección y pasan desapercibidos en el trabajo cotidiano; se detectan du-



**TABLA 1.** Control de calidad.

Fecha: //	Espirómetro:	Macrojeringa: V = 3.005 ml	
i	R <sub>i</sub>	E <sub>i</sub> = (R <sub>i</sub> - V) / V × 100	(E <sub>i</sub> - M) <sup>2</sup>
1	3.150 ml	(3150 - 3005) / 3005 × 100 = 4,82%	(4,82 - 1,83) <sup>2</sup> = 8,94
2	3.100 ml	(3100 - 3005) / 3005 × 100 = 3,16%	(3,16 - 1,83) <sup>2</sup> = 1,77
3	2.950 ml	(2950 - 3005) / 3005 × 100 = -1,83%	(-1,83 - 1,83) <sup>2</sup> = 13,4
4	3.000 ml	(3000 - 3005) / 3005 × 100 = -0,17%	(-0,17 - 1,83) <sup>2</sup> = 4
5	3.100 ml	(3100 - 3005) / 3005 × 100 = 3,16%	(3,16 - 1,83) <sup>2</sup> = 1,77
Σ	4,82 + 3,16 - 1,83 - 0,17 + 3,16 = 9,14 %	8,94 + 1,77 + 13,40 + 4 + 1,77 = 29,88	
Σ / n	9,14 / 5 = 1,83% = M (exactitud)		
Σ / n - 1	29,88 / 4 = 7,47		
(Σ / n - 1) <sup>1/2</sup>	(7,47) <sup>1/2</sup> = 2,73% = DE (precisión)		

Interpretación estadística: el 95% de las mediciones de este instrumento se hallan afectadas por un error E = 1,83 ± 2 × 2,73% (M ± 2 DE), equivalente a un rango de error de -3,63 a 7,29%.

Interpretación clínica: durante una medición ulterior con el mismo espirómetro se obtuvo un resultado R = 4.550 ml para la capacidad vital de un paciente. El valor verdadero V resulta desconocido, pero se conoce el error E del aparato. Se despeja V a partir de la definición de error porcentual:

$E = (R - V) / V \times 100 \rightarrow E \times V / 100 + V = R \rightarrow V \times (E / 100 + 1) = R \rightarrow V = R / (E / 100 + 1)$ . Se aplica la nueva fórmula a los dos extremos del rango del error: V\_rango\_inferior = 4.550 ml / (-3,63 / 100 + 1) = 4.721 ml; V\_rango\_superior = 4.550 ml / (7,29 / 100 + 1) = 4.241 ml. Conclusión: el resultado obtenido de 4.550 ml corresponde a un valor verdadero para la capacidad vital que se encuentra entre 4.241 y 4.721 ml, con una certeza del 95%.

rante el control de calidad porque deterioran la exactitud. En general, tienen su origen en fallas de calibración o de diseño. Otros, denominados errores aleatorios, pueden sobreestimar o subestimar el resultado en forma inesperada y notoria; son los que afectan la precisión. Afortunadamente, son menos frecuentes porque su causa suele radicar en un desperfecto del instrumento o en una limitación insalvable de la tecnología.

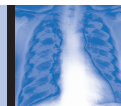
El presupuesto de la mayoría de los servicios de neumonología resulta insuficiente para montar un laboratorio de función pulmonar completo. Sin embargo, si se implementan las técnicas de espirometría forzada, saturometría de pulso, prueba de marcha de los seis minutos, presiones bucales máximas, capacidad pulmonar total radiográfica, polisomnografía de nivel IV y provocación bronquial, igualmente podrán estudiar funcionalmente a sus pacientes de un modo adecuado y sólo deberán derivar los casos más complejos. Por ese motivo se

dedicarán los primeros párrafos al control de calidad de estas técnicas, cuya responsabilidad, además, recae sobre el jefe del laboratorio.

Los procedimientos más sofisticados, como medición de la capacidad de difusión de monóxido de carbono, pletismografía corporal total, lavado de nitrógeno, polisomnografía de nivel I y ejercicio graduado, serán analizados al final. En estos casos, el control de calidad es una responsabilidad compartida entre el jefe del laboratorio y la empresa fabricante del equipo.

### CALIFICACIÓN DEL PERSONAL

El laboratorio pulmonar debe ser dirigido por un médico neumonólogo, quien será el responsable de dictar las normas, vigilar su cumplimiento y avalar los informes emitidos. La intervención exclusiva de un idóneo no resulta suficiente porque ciertas recomendaciones, como la gradación del riesgo preope-



ratorio, implican responsabilidades legales. Es de buena práctica llevar registros impresos de las actividades.

Los técnicos deben conocer rudimentos de fisiopatología respiratoria, de instrumentación y de clínica pulmonar para poder desempeñarse en forma adecuada. La Asociación Argentina de Medicina Respiratoria dicta un curso de capacitación sobre espirometría con el patrocinio de la Asociación Latinoamericana del Tórax y basado en las recomendaciones del National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos.

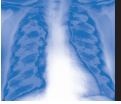
Después de obtener la certificación, los técnicos deben estar inscritos localmente en un programa de educación continua y asentar en el mismo la revisión de los trazados de su autoría que resulten objetables.

La mejor herramienta didáctica, en el caso de la espirometría, la constituye una lámina mural con ejemplos de las diferentes curvas normales y anormales que se pueden observar.

### GENERALIDADES SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS

Cada prueba tiene sus peculiaridades, pero también existen recomendaciones que son válidas para todas (Miller, Crapo, 2005), a saber:

- Conviene realizar las pruebas en posición sentada, ante la eventualidad de que el paciente sufra un síncope durante las maniobras forzadas. Las personas obesas obtienen mejores resultados en posición de pie. El decúbito influye negativamente, sobre todo cuando existe debilidad diafragmática. Conviene dejar constancia de la posición del paciente en el informe.
- Resulta más conveniente practicar la autooclusión manual de la nariz en lugar de recurrir al uso de pinzas, porque es más higiénica y produce menos claustrofobia. Cuando ello no es posible (pletismografía, prueba de ejercicio) se recomienda interponer una banda de papel absorbente, que impide el deslizamiento del broche y mejora la higiene.
- Los pacientes con prótesis dentarias calzadas flojamente deben quitárselas.
- El técnico debe cerciorarse de que la boquilla sea tomada sin pérdidas perilabiales, especialmente en los casos de parálisis facial. Una fuente sutil de pérdida es la perforación timpánica.
- Se deben evitar el consumo de tabaco y de alcohol y las comidas copiosas en las horas previas a cualquier prueba pulmonar.
- El paciente no debe vestir ropas ajustadas sobre el tórax y el abdomen, especialmente corsés, yesos, cinturones y corpiños.
- Se debe medir la talla de los pacientes y no confiar en el dato anamnésico informado por ellos, sobre todo en las personas de edad avanzada.
- Hay que medir la temperatura ambiente periódicamente durante la jornada de trabajo en lugar de adjudicarle el valor arbitrario de 20 °C. La presión atmosférica y la humedad relativa resultan menos críticas a los fines del ajuste por temperatura corporal y presión saturada (BTPS).
- Los neumotacógrafos calefaccionados no realizan corrección a BTPS y su calibración se debe realizar con la fuente desconectada y el sensor a temperatura ambiente. Los neumotacógrafos sin calefacción multiplican automáticamente el valor obtenido por el factor BTPS por lo que, al calibrarlos, se debe ingresar 37 °C como temperatura ambiental para llevar a 1 el valor del factor y anular la corrección.
- Algunas pruebas pueden influir sobre los resultados de otras. En caso de realizar varias en forma consecutiva, se aconseja practicar primero la espirometría forzada, luego la pletismografía corporal, aplicar los broncodilatadores si corresponde, luego seguir con la capacidad de difusión de monóxido de carbono y terminar con la espirometría forzada posbroncodilatación. Si se miden volúmenes pulmonares por lavado de nitrógeno, es conveniente hacerlo después de la medición de la capacidad de difusión de monóxido de carbono o dejar al menos un intervalo de tiempo igual al doble del que insumió el lavado, pues el oxígeno utilizado modifica la difusión. Las pruebas de marcha se realizan al final de las mencionadas.
- El riesgo de contagio infeccioso a partir del contacto con secreciones, saliva o sangre se minimiza mediante la utilización de boquillas y sensores descartables; los componentes reutilizables deben ser esterilizados. El contagio a través de microgotas aerosolizadas se puede reducir utilizando la técnica de circuito abierto: el paciente inhala aire atmosférico y exhala en el instrumen-



to. Cuando resulta obligatorio recurrir al circuito cerrado porque se deben registrar ambas fases del ciclo respiratorio (curva flujo-volumen, volúmenes pulmonares), se pueden interponer filtros bacteriológicos de baja resistencia. En tal caso, la calibración del instrumento se debe realizar con el filtro en posición.

### ESPIROMETRÍA Y CURVA FLUJO-VOLUMEN

Los mínimos recaudos por atender al realizar esta práctica se resumen del siguiente modo (Miller, Hankinson, 2005):

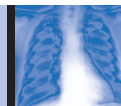
- Se deben adquirir espirómetros que hayan sido validados por una institución imparcial, si bien las certificaciones de máximo nivel, como CE, ISO 9000, IRAM, encarecen significativamente el precio final del instrumento y no son exigidas por la ley (siempre que el médico asuma la responsabilidad). El servicio de posventa es de gran importancia. Tomando estas previsiones quedan resueltos por el fabricante todos los aspectos técnicos críticos, como la linearización del neumotacógrafo, la digitalización de la señal, las respuestas estática y dinámica del sistema, la extrapolación retrógrada, la corrección BTPS.
  - Se debe comprobar diariamente la exactitud del aparato con una macrojeringa de tres litros, la cual deberá mantenerse dentro de  $\pm 3,5\%$ . El procedimiento se debe realizar dos veces a diferentes flujos: 3 litros (l) en menos de un segundo para el volumen espiratorio forzado del primer segundo y 3 l en alrededor de seis segundos para la capacidad vital forzada.
  - Conviene realizar mensualmente una detección de fugas y deformaciones de los espirómetros volumétricos y de la jeringa de calibración, con énfasis en los topes del vástago de ésta.
  - Sólo se deben aceptar las maniobras de espiración forzada que comiencen luego de una rápida inspiración máxima, que posean un pico inicial en la curva flujo-volumen, una duración no inferior a seis segundos, una meseta final aceptable en la curva volumen-tiempo y que no presenten interrupciones durante el primer segundo.
  - Se requieren, al menos, tres curvas en las que la capacidad vital forzada y el volumen espiratorio forzado del primer segundo no difieran en más de 150 ml.
- Hay que suspender con anterioridad la medicación broncodilatadora si lo que se desea es evaluar la respuesta aguda a dichos fármacos. De lo contrario, conviene mantenerla para comprobar la eficacia del tratamiento instituido.
  - Se sugiere utilizar dosis elevadas de una asociación de agonista  $\beta_2$  y anticolinérgico (por ejemplo, cuatro *puffs* de Combivent®) para desmascarar algún grado de reversibilidad durante la prueba de broncodilatación.
  - Se debe dar preferencia a los aparatos que permiten analizar la forma de las curvas flujo-volumen superpuestas para juzgar el desempeño del paciente y para dar validez a la rama inspiratoria del lazo.

### SATUROMETRÍA DE PULSO

La exactitud y la precisión de este método dependen de tres factores (Jubran, 1999). El primero de ellos es el algoritmo de calibración biológica que el fabricante incorpora en su *software*. Al respecto, se debe destacar que:

- Conviene adquirir aquellas marcas que cuentan con algún algoritmo de filtrado inteligente en el *software* (como el denominado Masimo SET, por *Signal Extraction Technology*), ya que minimizan los artefactos de movimiento y de baja perfusión.
- Las lecturas de saturación de pulso por debajo del 80% deben ser tomadas como semicuantitativas ya que la curva de calibración empírica tiene siempre pocos puntos en dicho rango, dada la dificultad de generar hipoxia grave en los voluntarios sanos que contribuyen a la calibración de fábrica.
- Los cambios bruscos de oxigenación tardan unos segundos en manifestarse en la saturación de pulso porque la medición es un promedio temporal.
- Se debe corroborar periódicamente la calibración de cada sensor mediante un simulador electrónico u óptico.

El segundo factor consiste en contar con una onda de pulso amplia y definida porque se necesitan dos lecturas (una en sístole y otra en diástole) para hallar la diferencia entre ambas, que es la que corresponde al incremento de la volemia arteriolar y capilar proximal, cuya saturación se desea conocer. Al respecto:



- Se sugiere adquirir aparatos con pantalla gráfica para la onda pletismográfica.
- Conviene descartar las mediciones obtenidas con una onda aplanada de baja perfusión.
- Conviene ignorar las mediciones contaminadas por artefactos de movimiento, que se aprecian en la pantalla.
- Conviene descartar las mediciones contaminadas por cualquier “ruido” ocasionado por fuentes de luz cercanas (tubos fluorescentes) o por interferencia electromagnética (como “alterna”, electrocauterio), visibles en la pantalla.

El tercer factor involucrado en la técnica oximétrica es la absorción, por parte del tejido interpuesto, de la luz emitida por el sensor en dos longitudes de onda que discriminan claramente la presencia de hemoglobina y de oxihemoglobina. Al respecto:

- La carboxihemoglobina y la metahemoglobina no son detectadas por las dos longitudes de onda habituales y la presencia de cualquiera de dichas variantes de hemoglobina en sangre produce sobreestimaciones de la saturación de pulso calculada.
- La interposición de pigmentos en ciertas longitudes de onda afecta las lecturas: barniz de uñas, colorantes en sangre –como el azul de metileno–, piel pigmentada racialmente o por tabaquismo, etcétera. La anemia y la ictericia no afectan la saturación de pulso medida.

La forma sigmoidal de la curva de disociación de la oxihemoglobina puede llevar a errores en la interpretación clínica de la saturación de pulso medida.

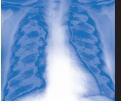
- Conviene adherir a la carcasa del oxímetro un gráfico con una curva de disociación estándar para enfatizar su fisiopatología ante los médicos y enfermeras actuantes.
- El nivel de saturación no debe superar el 92% durante la oxigenoterapia, ya que se puede caer fácilmente en hiperoxia.
- Los pequeños descensos de la saturación de pulso por debajo del 90% implican grandes caídas de la presión alveolar de oxígeno.

- Conviene coleccionar múltiples pares de valores de saturación de pulso y presión alveolar de oxígeno obtenidos en pacientes a quienes se les hayan realizado determinaciones simultáneas de gases en sangre y oximetría para ir construyendo una curva de disociación “de la casa”, de gran valor docente.

### PRUEBA DE MARCHA DE SEIS MINUTOS

La prueba de marcha de seis minutos y otra prueba estrechamente relacionada, denominada *Shuttle Test*, son dos prácticas similares que cuantifican la capacidad funcional del paciente para las actividades de la vida diaria (ATS, 2002). La evaluación es de tipo general.

- Ambas permiten comprobar en forma objetiva la eficacia de los tratamientos que no se reflejan en la espirometría (rehabilitación pulmonar, terapia vasodilatadora para la hipertensión pulmonar, oxigenoterapia, entre otros).
- Sirven para precisar el mecanismo de intolerancia al ejercicio (dificultad osteoarticular, déficit neuromuscular, claudicación intermitente, angor, disnea, broncoespasmo inducido, hipertensión o hipotensión arterial) cuando ello no surge del interrogatorio.
- Las dos pruebas se correlacionan débilmente con el consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ), y no resultan útiles para identificar la causa de la disnea.
- Las pruebas entrañan cierto riesgo en pacientes con arritmias, hipertensión o angina de pecho, por lo que se debe contar con un botiquín de medicamentos, una camilla y oxígeno al realizarlas; sin embargo, los recursos para monitoreo electrocardiográfico y desfibrilación resultan exagerados. La prueba se debe interrumpir en caso de precordialgia, disnea extrema, calambres, palidez con sudores o inminente pérdida de conocimiento.
- Si se dispone de un pasillo cubierto de 30 metros de longitud (con marcas cada tres metros y conos demarcatorios en sus extremos) conviene implementar la prueba de marcha de los seis minutos, porque es una prueba más estandarizada. Si sólo se dispone de un corredor de 10 metros, conviene realizar el *Shuttle Test*, que ha sido concebido para espacios más reducidos (Singh, 1994).



- El paciente debe descansar sentado durante 10 minutos antes de empezar. Durante ese tiempo se tomarán los valores iniciales de frecuencia cardíaca, presión arterial y saturometría de pulso, así como el grado de disnea/fatiga con una escala de Borg. Algunos pacientes pueden distinguir entre los dos síntomas y graduarlos por separado.
  - Durante la prueba de marcha de los seis minutos se debe alentar al paciente cada 60 segundos, pero no al extremo de impedirle elegir su propio ritmo de marcha o tomar descansos cuando los necesite, ya que se trata de un esfuerzo submáximo. El *Shuttle Test*, por el contrario, es una prueba máxima que se detiene por agotamiento. Al concluir se tomará nota de la distancia recorrida y de las variaciones fisiológicas producidas, así como de otros datos que facilitan la interpretación y que se hallan resumidos en un informe estándar de la American Thoracic Society (ATS, 2002).
  - Los factores que influyen sobre el resultado final son múltiples, a saber: peso corporal, longitud del paso, adherencia del calzado al piso, modo de girar alrededor de los conos, trastornos músculo-esqueléticos de los miembros inferiores, aliento del técnico, motivación, ansiedad, estrategia para administrar el esfuerzo, aprendizaje, medicación, oxigenoterapia, entre otros. Aún así, se puede lograr una aceptable reproducibilidad cuando la prueba queda en manos del mismo técnico, que aplica siempre su misma versión del procedimiento y que adiestra al paciente con una o dos caminatas de práctica realizadas una hora antes de la primera oportunidad en que lo atiende.
  - Registrar la presión espiratoria máxima a partir de la capacidad pulmonar total y la presión inspiratoria máxima a partir del volumen residual, por tratarse de los puntos óptimos en la relación tensión-longitud muscular. En esos casos, la presión de retroceso toracopulmonar se suma a la desarrollada por los músculos.
  - Aceptar como válida sólo la presión que el paciente logra mantener durante alrededor de un segundo ya que, de ese modo, cualquier eventual sobrepresión generada espuriamente en la cavidad bucal se disipará a través de la pérdida.
  - Repetir al menos tres veces la maniobra y hasta que las dos mejores determinaciones difieran en menos del 20%. Se debe informar el valor más elevado.
  - Ubicar a los pacientes en posición de pie o sentados, ya que el decúbito altera la relación longitud-tensión del diafragma.
- Al estudiar pacientes intubados no se requiere el uso de la pérdida, porque la musculatura bucal no interviene.
- Finalmente, en la dirección electrónica [wojauregui@gmail.com](mailto:wojauregui@gmail.com) se pueden solicitar sin cargo las instrucciones para construir artesanalmente un aparato para medir presiones bucales máximas mediante un tensiómetro aneroide de presión arterial modificado como manovacuómetro.

### CAPACIDAD PULMONAR TOTAL POR EL MÉTODO RADIOGRÁFICO DE LAS ELIPSOIDES

Los métodos radiográficos para medir la capacidad pulmonar total se basan en la suposición de que las morfologías de la caja torácica y de los órganos contenidos en su interior pueden ser asimiladas a formas geométricas puras; desde luego, ello constituye una aproximación y sólo por azar se lograrán resultados idénticos a las mediciones fisiológicas (Clausen, 1982).

Además, los métodos radiográficos miden el volumen pulmonar envuelto por la pleura, que incluye el aire y el parénquima, mientras que la pletismografía mide el volumen de gas, y el lavado de nitrógeno sólo la fracción de éste que se comunica libremente con la boca.

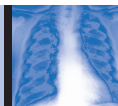
- Los métodos radiográficos no son aplicables en casos de deformación de la caja torácica, como cifoescoliosis, toracoplastia, entre otros.

### PRESIONES BUCALES MÁXIMAS ESTÁTICAS

Los recaudos que se deben tomar al medir las presiones bucales máximas espiratorias e inspiratorias (Pemax y Pimax) son los siguientes (ATS/ERS, 2002):

- Utilizar boquillas de buceo en lugar de las comunes de espirometría, porque resulta difícil mantener el ajuste labial a altas presiones si no se cuenta con la ayuda de la mordida y el sellado de la pestaña.
- En tal caso, seleccionar valores normales que hayan sido obtenidos con ese tipo de boquilla (Wilson, 1984).





- Si se los aplica en casos de ocupación alveolar –como una neumonía– u ocupación pleural –como un derrame–, el resultado incluirá el parénquima hepatizado y el líquido.
- Entre las alternativas disponibles, se sugiere utilizar el método de las elipsoides de Barnhard (1960), ya que sus fundamentos son explícitos y la implementación resulta fácil con la ayuda de una computadora.
- La exposición del par radiográfico debe ser cuidadosa. Se debe utilizar una técnica de alto kilovoltaje para identificar los límites pleurales sin ambigüedad.
- El técnico de rayos debe cerciorarse de que el paciente se mantenga igualmente erguido durante las tomas de frente y lateral, de que el perfil sea estricto y de que la incidencia frontal sea pósterio-anterior.
- Se deben tomar las placas en inspiración máxima.
- Hay que utilizar una distancia foco-placa de 180 centímetros para lograr un haz de rayos casi paralelos.
- Las placas deben ser alineadas sobre un negatoscopio de dos cuerpos con una grilla centimetrada impresa para facilitar las mediciones.
- Se puede utilizar un programa *freeware* (wojau-regui@gmail.com) para agilizar los cálculos.
- Esporádicamente, conviene practicar un control de calidad del procedimiento, destinado sobre todo a pulir la técnica y a comprobar sus limitaciones. Este control consiste en tomar un par radiográfico a capacidad pulmonar total y otro a volumen residual a un integrante del laboratorio, calcular luego los volúmenes y comparar la diferencia entre ambos resultados contra una capacidad vital espirométrica.

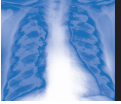
#### POLISOMNOGRAFÍA DE NIVEL IV

Se designan así los registros de sueño tomados mediante un oxímetro con memoria y capacidad gráfica para saturometría de pulso y frecuencia cardíaca (ATS/ACCP/AASM, 2004). Su utilización como método de rastreo, diagnóstico o titulación de presión positiva continua en la vía aérea (CPAP) en el síndrome de apneas obstructivas del sueño es motivo de controversia. Consideramos que se trata de

un recurso neumonológico útil cuando no se puede acceder a la polisomnografía de nivel III, que monitorea otros parámetros cardiorrespiratorios además de los mencionados. Los neurólogos, en cambio, no podrán prescindir de los aparatos de niveles I y II, con registro de electroencefalograma, electroftalmograma y electromiograma, ya que son los únicos que les permiten diagnosticar cualquier otra enfermedad del sueño.

Las objeciones a la polisomnografía de nivel IV se pueden minimizar tomando ciertos recaudos:

- Cada institución hospitalaria debería adoptar un algoritmo diagnóstico y terapéutico como estrategia institucional consensuada para dar respuesta a la demanda de casos con apneas obstructivas del sueño, y evitar el aumento de los costos. Se dispone de varias herramientas útiles: los cuestionarios que gradúan la probabilidad antes de la prueba, las polisomnografías de nivel IV y de nivel I, “de noche partida”, la presión positiva continua en la vía aérea por la autotitulación y autoajustable.
- Conviene realizar la polisomnografía de nivel IV atendida por un técnico entrenado, quien tomará nota de la presencia de ronquidos, apneas y despertares, de la influencia del decúbito, etcétera.
- Hay que realizar un análisis manual de todo el trazado antes de aceptar los resultados que se pudieran obtener automáticamente a través del *software* del oxímetro.
- El resultado obtenido se tiene que expresar como “cantidad de picos de hipoxemia significativos/tiempo total de registro”, aclarando que: a) el numerador no discrimina entre apneas e hipoapneas; b) el denominador es mayor que el tiempo total de sueño; c) el cociente no es igual al índice de apneas + hipoapneas (o Índice de Disturbios Respiratorios, IDR) medido con la polisomnografía de nivel I.
- Resulta una conducta prudente indicar la polisomnografía de nivel IV sólo a los pacientes con alta probabilidad antes de la prueba de presentar apneas obstructivas.
- También es prudente excluir de la polisomnografía de nivel IV a los pacientes con alguna comorbilidad que pueda causar hipoxemia durante el sueño (como enfermedad pulmonar obstructiva crónica, insuficiencia cardíaca congestiva, asma,



trastornos neuromusculares, retención de dióxido de carbono por cualquier causa).

- Se debe cumplir estrictamente con el control de calidad propuesto para los oxímetros de pulso.

### PRUEBAS DE PROVOCACIÓN BRONQUIAL CON METACOLINA Y POR EJERCICIO

Las pruebas de provocación bronquial con metacolina y por ejercicio evalúan la hiperreactividad bronquial. Desde un punto de vista clínico resultan más útiles para descartar el diagnóstico de asma bronquial que para confirmarlo (valor predictivo negativo) (Crapo, 2000).

La exactitud en la determinación de la dosis provocadora administrada, así como del efecto broncoconstrictor producido, es de capital importancia para construir la curva de respuesta y calcular sus parámetros.

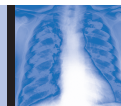
A continuación se brindan algunas recomendaciones útiles:

- El personal a cargo del procedimiento debe conocer los rudimentos clínicos para detectar una situación de emergencia. Debe haber un médico cerca para intervenir en caso de broncoespasmo grave. Se debe contar con los medicamentos necesarios.
- Resulta aconsejable la utilización de un formulario explicativo previo, que debería ser firmado por el paciente otorgando su consentimiento.
- Antes de hacerse cargo en forma independiente, cada técnico tiene que haber participado en unas veinte pruebas de provocación bronquial supervisadas.
- Para evitar la exposición del personal a la metacolina, el ambiente debe estar bien ventilado: se deben realizar dos cambios totales del aire cada hora. Se pueden aplicar otras medidas, como los filtros HEPA.
- La utilización de un dosímetro minimiza el venteo de metacolina, pues sólo libera el fármaco durante una fracción del tiempo inspiratorio.
- Los técnicos que sufren de asma deben tomar medidas de precaución adicionales, como evitar las pruebas de provocación bronquial durante sus crisis. Es aconsejable conocer en ellos la reactividad a la metacolina mediante su propio testeo.
- Resulta prudente indicar las pruebas de provocación bronquial sólo a aquellos pacientes que han demostrado previamente su habilidad para realizar espirometrías satisfactorias y reproducibles.
- Durante las horas y días previos a la prueba, el paciente debe evitar la exposición a medicamentos o circunstancias que modifiquen la reactividad bronquial, en más o en menos. Por ejemplo, humo de tabaco (dos horas); agonistas  $\beta$ -2, inhalados u orales (24 horas); teofilina por vía oral (48 horas); bebidas cola, café o chocolate (seis horas); antihistamínicos H1 (terfenadina, cetirizina, loratadina) (72 horas); antagonistas del receptor de los leucotrienos (72 horas); polutantes aéreos (una a tres semanas); infecciones virales respiratorias (seis semanas); sensibilizantes ocupacionales e irritantes químicos (tres meses).
- La metacolina se presenta como un polvo seco, muy higroscópico, que debe ser diluido en las diferentes concentraciones para su uso con solución salina normal al 0,9%, con o sin fenol al 0,4% como conservante. Las concentraciones con más de 3 miligramos por mililitro (mg/ml) (para algunos, las mayores a 0,125 mg/ml) son estables durante un período de tres meses, mientras que las concentraciones menores se preparan para ser utilizadas dentro de las dos semanas. Se deben conservar a 4 °C y ser llevadas a temperatura ambiente unos minutos antes de su uso.
- Tanto la exactitud de las diluciones como su esterilidad y conservación son aspectos metodológicos importantes a tener en cuenta para asegurar la calidad de la prueba.

### DLCO: DIFUSIÓN O TRANSFERENCIA DE MONÓXIDO DE CARBONO

Existen varios métodos para determinar la tasa de transferencia de monóxido de carbono, pero el único que ha sido estandarizado es el de la respiración única (SBDLCO) (Macintyre, 2005). El paciente inspira hasta capacidad pulmonar total una mezcla gaseosa que contiene mínimos porcentajes conocidos de monóxido de carbono y de otro gas trazador, como helio o metano; luego mantiene la apnea, sin esfuerzo, durante 10 segundos y, finalmente, exhala hasta alcanzar el volumen residual. Se recoge una





muestra del gas alveolar espirado, luego de desechar los primeros 700 ml, y se determina su contenido de monóxido de carbono y gas trazador. La diferencia con respecto al gas inspirado permite calcular la cantidad de monóxido transferido del espacio alveolar a la sangre durante la apnea; el resultado se expresa en mililitros de monóxido de carbono por minuto de apnea por milímetros de mercurio de presión alveolar de monóxido de carbono para darle sentido fisiológico. La información sobre el gas trazador permite calcular, por dilución, el volumen alveolar (VA), que se expresa en litros a BTPS. El cociente entre ambos se denomina factor de transferencia  $KCO = DLCO/VA$ .

Esta prueba es muy interesante desde el punto de vista fisiológico y despierta gran expectativa; sin embargo, su utilidad clínica no está a la altura del costo del equipamiento.

- Aunque el operador sea sumamente minucioso, son frecuentes las diferencias interlaboratorio.
- El paciente debe abstenerse de fumar antes de la prueba, dado que esto afecta la presunción de ausencia de monóxido de carbono en la sangre.
- La capacidad de difusión de monóxido de carbono debe ser corregida según la hemoglobina e, idealmente, también según la carboxihemoglobina del paciente, con datos de no más de una semana de diferencia, anteriores o posteriores a la medición. Esto es particularmente importante si se considera el seguimiento de enfermedades que pueden producir anemia además de afectar la transferencia gaseosa (artritis reumatoidea, lupus eritematoso sistémico, entre otras).
- El tiempo durante el cual el paciente mantiene la apnea debe ser de nueve a 11 segundos.
- El tiempo inspiratorio debe ser menor que 2,5 segundos, aceptándose hasta cuatro segundos en pacientes con obstrucción de la vía respiratoria. El esfuerzo inspiratorio incrementa el retorno venoso, como las maniobras que se verán más adelante.
- El volumen de gas inspirado debe ser mayor que el 90% de la capacidad vital.
- Se debe respetar un intervalo mínimo de cuatro minutos entre una y otra prueba, si se la quiere

repetir, para permitir la eliminación del gas trazador.

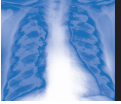
- Los resultados varían con la posición corporal y con las maniobras de Mueller o de Valsalva. También influyen el embarazo, desde el primer trimestre, y la menstruación.
- Se deben realizar periódicamente estudios en personas sin patología (dos por mes) a modo de "calibración biológica".
- La calibración de los neumotacómetros se debe realizar según lo mencionado en el apartado sobre espirometría.
- La calibración de los analizadores gaseosos se debe realizar antes de cada paciente. En este punto resulta indispensable contar con el consejo y el apoyo del fabricante.
- Se debe informar el promedio de dos pruebas aceptables, que exhiban una diferencia entre ambas menor que el 10% o que 3 mililitros por minuto por milímetros de mercurio.

### PLETISMOGRAFÍA CORPORAL TOTAL

Las determinaciones más importantes que se pueden realizar con el pletismógrafo son dos: el volumen de gas torácico (TGV), con la técnica de jadeo contra boquilla ocluida, y la resistencia de la vía aérea (Raw), mediante el jadeo contra boquilla permeable, luego de obtener el volumen de gas torácico. De ellas se derivan la conductancia de la vía aérea ( $Gaw = Raw - 1$ ) y la conductancia específica de la vía aérea ( $sGaw = Gaw / TGV$ ) (Wanger, 2005).

Se hará referencia al volumen de gas torácico porque su medición ha sido estandarizada, no así las determinaciones de la resistencia de la vía aérea.

- Existen contraindicaciones insalvables para la pletismografía, como la presencia de tubos torácicos, infusiones intravenosas u oxigenoterapia, que dificultan el ingreso del paciente a la cabina; la falta de la comprensión y la coordinación neuromuscular mínimas que se requieren para realizar las poco amigables maniobras; el padecimiento de claustrofobia o de perforación timpánica (ésta debido al barotrauma).
- Según las características del equipo, la transmisión de infecciones puede constituir un problema. Es necesaria la utilización de filtros bacteriológi-



cos, pero teniendo en cuenta que agregan espacio muerto y que se lo debe incluir en los cálculos.

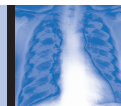
- La botella isotérmica es el patrón que se utiliza para realizar el control de calidad de la cabina pletismográfica. Consiste en un frasco grande cuyo tapón se encuentra atravesado por dos tubos; el volumen interior es conocido (3 l) y a éste se le resta el volumen desplazado por un puñado de virutas de cobre que se agregan en la cavidad con la finalidad de captar y liberar rápidamente calor para mantener la temperatura constante como sucede con el aire pulmonar. El tubo de salida se conecta al neumotacómetro mientras la botella es sostenida por un operador que se encuentra alojado en la cabina cerrada. Esta persona le imprime al aire del simulador un efecto similar al jadeo, operando una pera de goma conectada al tubo de entrada de la botella. La respiración propia del operador pasa desapercibida porque toma el aire desde la cabina.
- Lamentablemente, la utilización de la botella isotérmica no está difundida. En tal caso, se aconseja realizar, al menos, verificaciones mensuales con personas normales conocidas (personal de la institución) cuyos valores no deberían variar significativamente en el tiempo (5% en capacidad residual funcional y 10% en volumen residual).
- Se debe pesar al paciente. A diferencia de otras pruebas de función pulmonar, el peso interviene en las mediciones primarias que el pletismógrafo realiza, pues el volumen de gas contenido en la cabina se obtiene sustrayendo el volumen del paciente calculado en base al peso corporal. Dependiendo del *software* utilizado, un error en el peso puede afectar de modo insalvable las mediciones. En el mismo sentido, cuando un adulto se introduce en la cabina junto con un niño para ayudarlo, se debe tomar el peso de ambos.
- Se debe realizar una calibración cuidadosa de transductores y neumotacómetros (ver apartado sobre espirometría) según las especificaciones del fabricante, lo que generalmente incluye la calibración con macrojeringa de flujo sinusoidal (interna) accionada por un motor eléctrico.
- El paciente debe ingresar a la cabina con ropa liviana, pues los abrigos pueden amortiguar las señales de presión.

- La técnica apropiada de jadeo incluye una frecuencia de alrededor de un ciclo por segundo (0,5 a 1 Hz).
- La posición corporal es importante: los codos deben encontrarse libres y el cuello deflexionado. Las narinas deben ser ocluidas con un broche nasal y las mejillas y el mentón soportados con ambas manos para evitar la amortiguación que provocaría la inflación y deflación de las mejillas. En caso de utilizar prótesis dentarias, se mantendrán en su lugar.
- El volumen de jadeo debe ser pequeño ( $\pm$  50 centímetros cúbicos) y se evitará la utilización de músculos respiratorios accesorios.
- La medición del volumen de gas torácico se realizará lo más aproximado a la capacidad residual funcional que resulte posible (idealmente, ambas son iguales, aunque cierta diferencia se compensa a través del *software*).
- Se hacen series de tres a cinco jadeos, con una pendiente estrecha (sin formación de bucles, que denotan habitualmente artefactos originados en la vías aéreas superiores) y una inclinación aceptable y similar (entre 30° y 60° en el gráfico  $\Delta P/\Delta V$ ).
- Como limitación inherente al método, la pletismografía corporal puede sobrestimar el volumen de gas torácico en pacientes con meteorismo marcado u obstrucción grave de la vía respiratoria.

### TÉCNICA DE DILUCIÓN GASEOSA POR LAVADO DE NITRÓGENO

Esta técnica es delicada desde el punto de vista del control de calidad debido a que hay dos (o más) sensores involucrados, a que éstos deben alcanzar un alto grado de exactitud y a que sus señales deben coincidir temporalmente (Wanger, 2005).

- La calibración y verificación de volumen del neumotacógrafo se efectuará según lo expuesto en la sección dedicada a espirometría, con una macrojeringa de 3.000 ml. Es recomendable verificar los volúmenes inhalados con oxígeno al 100% aspirando el gas con la jeringa desde la válvula a demanda o la bolsa de oxígeno.
- La válvula a demanda debe proveer oxígeno al 100% con una presión de inicio de flujo menor



a 10 centímetros de agua y alcanzar un flujo de hasta 6 litros por segundo.

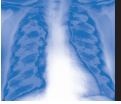
- La resistencia del sistema debe ser baja (idealmente menor de 1,5 centímetros de agua por litro por segundo), pues de lo contrario puede influir en el volumen de inicio del lavado, ocasionando que el volumen pulmonar en el que realiza la maniobra no sea el habitual del paciente.
- El espacio muerto de la válvula respiratoria debe ser inferior a 100 ml.
- El analizador de nitrógeno debe tener una respuesta lineal, con una inexactitud menor al 0,2% en el rango de medición (0-80%), con una resolución de menos del 0,01% y un tiempo de respuesta del 95% de menos de 60 milisegundos. En los casos en que se miden las concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno, e indirectamente se calcula la de nitrógeno por sustracción de ambos, la exactitud total requerida es la misma.
- Antes de cada paciente se debe realizar una calibración de dos o tres puntos del analizador, con oxígeno al 100% y aire ambiente (el tercer punto intermedio sería nitrógeno al 40%). Los valores deben presentar una exactitud de  $\pm 0,5\%$  antes de continuar.
- Los sistemas computarizados comprueban automáticamente el nivel de vacío, la temperatura del neumotacógrafo (en los aparatos que utilizan estos dispositivos a 37 °C), el cero del flujo y una señal de nitrógeno entre el 79 y el 81%. El sistema debe emitir avisos de error en los casos en los que no se cumplan los requisitos mencionados.
- Se debería realizar una calibración biológica, midiendo a un miembro sano del personal, al menos mensualmente. Si la variación hallada es superior al 5%, se la debe corregir antes de continuar midiendo pacientes.
- Los trazados de concentración fraccional de nitrógeno-tiempo y de volumen-tiempo deben ser analizados (automáticamente) para detectar pérdidas y verificar la reproducibilidad del volumen corriente, capacidad inspiratoria y capacidad vital.
- La estabilidad del nitrógeno y de la señal de flujo (en un momento en que no se esperan cambios) se debe examinar en busca de excesivo

ruido o deriva. Un incremento brusco del nitrógeno espirado significa una pérdida en el sistema (habitualmente por ingreso de aire alrededor de la pieza bucal). En este caso, la prueba debe ser interrumpida y repetida. Lo mismo debe hacerse si se detecta un incremento del nitrógeno inspirado mayor al 1%.

- En caso de requerirse la repetición de la prueba (habitualmente es suficiente con una prueba aceptable) se debe esperar un mínimo de 15 minutos con el paciente respirando aire ambiente (el tiempo requerido puede ser de más de una hora en caso de obstrucción grave de la vía respiratoria o enfermedad bullosa pulmonar). La concordancia entre dos pruebas debería estar dentro del 10%.
- La concentración final de nitrógeno debe ser inferior al 1,5% durante al menos tres ciclos respiratorios. Si es superior, se debe consignar en el informe, advirtiendo que los volúmenes (capacidad residual funcional y capacidad pulmonar total) pueden ser inexactos.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 166: 518-624.
- ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 166: 111-7.
- ATS/ACCP/AASM Taskforce Steering Committee. Executive summary on the systematic review and practice parameters for portable monitoring in the investigation of suspected sleep apnea in adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004; 169: 1160-3.
- Barnhard HJ, Pierce JA, Joyce JW, Bates JH. Roentgenographic determination of total lung capacity. A new method evaluated in health, emphysema and congestive heart failure. *Am J Med.* 1960; 28: 51-60.
- Clausen JL, Powell Zarins L. Estimation of lung volumes from chest radiographs. En: Clausen JL. *Pulmonary Function Testing. Guidelines and Controversies Equipment, Methods, and Normal Values.* Nueva York: Academic Press Inc; 1982; 155-63.
- Crapo RO, Casaburi R, Coates AL. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000; 161: 309-29.
- Jubran A. Pulse oximetry. *Crit Care.* 1999; 3: R11-R17.
- Macintyre N, Crapo RO, Viegi G. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J.* 2005; 26: 720-35.



## Control de calidad en el laboratorio de función pulmonar

- Miller MR, Crapo R, Hankinson J; ATS/ERS Task Force. General Considerations for lung function testing. *Eur Respir J.* 2005; 26: 153-61.
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V; ATS/ERS Task Force. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J.* 2005; 26: 319-38.
- Singh SJ, Morgan MD, Hardman AE y cols. Comparison of oxygen uptake during a conventional treadmill test and the shuttle walking test in chronic airflow limitation. *Eur Respir J.* 1994; 7: 2016-20.
- Wanger J, Clausen JL, Coates A. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J.* 2005; 26: 511-22.
- Wilson SH, Cooke NT, Edwards RH, Spiro SG. Predicted normal values for maximal respiratory pressures in Caucasian adults and children. *Thorax.* 1984; 39: 535-38.