

## PUNTOS DE IGUAL PRESION Y FLUJO ESPIRATORIO MAXIMO

P. MACKLEM

Teorías actuales opinan que la proporción de flujo espiratorio máximo ocurre cuando la velocidad lineal de gas iguala la velocidad a la cual una onda de presión es transmitida a lo largo de las vías aéreas. Bajo estas circunstancias, un aumento en la diferencia de presión entre el alveolo y apertura, no se convierte en un aumento en el flujo porque la onda de presión no se puede transmitir.

Pruebas experimentales indican que el lugar de la limitación del flujo es en las vías aéreas, cerca de la carina, donde la presión dentro de la vía aérea es sustancialmente menor que fuera de ella. Al final del alveolo, sin embargo, la presión en el interior de la vía aérea es mayor que la presión fuera de ésta. Asimismo indica que debe haber un punto o puntos entre el alveolo y el segmento limitante de flujo, donde la presión interior es igual a la presión exterior. Tales puntos son conocidos como puntos de igual presión, y dividen las vías aéreas en un segmento comprimido entre los EPP (Equal Pressure Point = puntos de igual presión) y la salida torácica y un segmento distendido entre los EPP y el alveolo.

Como la presión dentro de las vías aéreas en el EPP es presión pleural, la presión impulsora que produce el flujo entre el alveolo y los EPP es la diferencia entre la presión alveolar y la pleural, o la presión de retracción elástica del pulmón. De aquí el flujo a cualquier volumen pulmonar,  $V_{max}$ , puede ser descrito por la porción de la presión impulsora,  $P_{el}$ , a la resistencia de las vías aéreas entre los EPP y el alveolo, la resistencia de corriente ascendente,  $R_{us}$ .  $V_{max} = P_{el}/R_{us}$ .

A cualquier volumen pulmonar ambos,  $P_{el}$  y  $V_{max}$ , son constantes. Asimismo  $R_{us}$  es también constante. Bajo condiciones de flujo máximo espiratorio, por tanto, las vías aéreas pueden ser pensadas como una corriente ascendente resistente fija de los EPP en serie con una resistente variable entre los EPP y la boca.

Mediciones experimentales indican que en pulmones normales los EPP están situados en bronquios lobar o segmentario por encima de un volumen pulmonar amplio de un 70 % de capa-

cidad vital hasta por debajo de FRC. En volúmenes pulmonares más bajos, los EPP se mueven hacia el alveolo, y cuando se aproximan a volumen residual son desplazados hacia dentro de las vías aéreas más pequeñas (2-3 mm de diámetro).

La razón de porque el sitio de los EPP es importante, está relacionada con la tos. La tos es más efectiva donde la velocidad lineal de gas es mayor.

La velocidad es mayor donde el área es menor para un determinado flujo. De aquí que, para que una tos sea efectiva al recorrer un segmento del árbol tranqueobronquial, el segmento debe ser comprimido. Como esto sólo cursa debajo de los EPP, el sitio de los EPP determina donde la tos será efectiva. En pulmones normales, la tos será efectiva solamente en un volumen pulmonar mayor en las vías aéreas extratorácicas, mientras que, en volumen pulmonar menor, será efectiva más periféricamente. La iniciación de una serie de toses, por tanto, limpiará primero las vías aéreas centrales y después, como la tos continúa a volúmenes pulmonares inferiores, las secreciones serán desplazadas de las vías aéreas periféricas a las centrales.

Tres factores determinan donde los EPP están situados: 1) La compliance de las vías aéreas; 2) la distribución de la resistencia a lo largo de las vías aéreas; 3) la presión de retracción elástica del pulmón. Una obstrucción en las vías aéreas periféricas conduce a un aumento en la presión a lo largo de estas vías aéreas, a un determinado flujo, de modo que la presión en el lado de la abertura de la obstrucción es menor que una predisposición normal a un desplazamiento de los EPP hacia el alveolo. Por otro lado, un segmento de tráquea altamente dúctil justo dentro de la vía torácica, hará que EPP sea alcanzado en ese punto. Un retroceso elástico bajo conducirá a una corriente de presión menor a lo largo de las vías aéreas periféricas antes que la presión en la luz iguale la presión pleural. Al mismo tiempo esto ayudará a los desplazamientos periféricos de EPP.

El balance entre estos factores determina el

lugar de EPP y cómo se mueve con el volumen pulmonar. La localización normal de EPP en los bronquios lobar y segmentario probablemente está relacionado con el hecho de que las vías aéreas superiores son suficientemente dúctiles, de modo que el segmento limitante del flujo está en o cerca de la carina. El desplazamiento alveolar de los EPP a volúmenes pulmonares bajos probablemente está relacionado con la reducción en la presión de retracción elástica en volúmenes pulmonares bajos y el aumento en la resistencia de las vías aéreas pequeñas.

En bronquitis crónicas y enfisema, hay obstrucción de las vías aéreas periféricas y pérdida de retracción elástica pulmonar. Estos dos factores tienden a desplazar los EPP hacia el alveolo, aumentando la longitud del árbol traqueobronquial, por encima del cual la tos será efectiva. Por otro lado, en algunos pacientes con bronquitis crónica y enfisema, existe un aumento considerable en la docilidad de las vías aéreas grandes. En estos individuos los EPP pueden permanecer situados centralmente. Esto puede determinarse por cinebroncografía. Estos filmes revelan dos patrones de estrechamiento traqueobronquial en pacientes con bronquitis crónica y enfisema durante la tos. En uno de los patrones, todo el árbol traqueobronquial se estrecha dramáticamente, extendiéndose el estrechamiento a varias generaciones de bronquios subsegmentarios. En estos pacientes, EPP son periféricos. En el otro patrón, el estrechamiento dramático se puede ver al nivel del bronquio lobar, mientras que no hay cambio en el calibre de la corriente ascendente de los bronquios segmentario y subsegmentario. En estos pacientes, EPP están situados centralmente.

En la broncoconstricción, como ocurre en el asma, se puede ver un patrón bastante diferente. De la constricción de la tráquea y bronquios principales, resulta un endurecimiento de estas estructuras, siendo de este modo menos com-

presible. Esto tiende a desplazar EPP hacia el alveolo, extendiendo el segmento comprimido, por encima del cual la tos será efectiva. Sin embargo, por ser las vías aéreas centrales menos compresibles de lo normal, la tos no será tan efectiva en la limpieza de estas vías aéreas, como sería si su tamaño fuera normal.

Un tercer patrón se observa en la bronquiectasia quística y sacular, donde no hay flujo a través de los sacos bronquiectásicos. Para que la tos sea efectiva para vaciar estos sacos de sus secreciones, deben ser prensados como un tubo de pasta de dientes. Esto significa que, la presión en el saco debe ser menor que la presión alrededor del saco. Como no hay flujo a través del saco, la presión en el saco es igual a la presión en la salida del saco. Si los EPP están entre la salida y la entrada, el saco no puede nunca ser prensado y si EPP está entre el saco y el alveolo, la tos será efectiva al vaciar el saco. Usualmente este es el caso. En estas circunstancias la tos en volúmenes pulmonares muy bajos debería, teóricamente ser efectiva al vaciar el saco por los desplazamientos periféricos de los EPP más allá de las aperturas del saco. Que yo sepa este hecho no ha sido probado.

En la obstrucción de las vías aéreas superiores a nivel de la laringe o tráquea, el flujo espiratorio puede que nunca sea establecido por un segmento limitante de flujo, donde la velocidad lineal del gas es igual a la velocidad de la onda. Bajo estas circunstancias, los EPP nunca prosiguen pasada la obstrucción, así que virtualmente nada del árbol traqueobronquial es comprimido por la tos. Del mismo modo, en la obstrucción traqueal intratorácica los EPP son alcanzados en el sitio de la limitación del flujo y nunca prosiguen periféricamente. Por lo tanto, la obstrucción de las vías aéreas superiores por la conducción de los EPP a desplazamientos centrales pueden interferir muy seriamente en el mecanismo de la tos.

---

## COLOQUIO

---

**Dr. López Mejías:** Con respecto al colapso que se ve en algunas de las vías aéreas nosotros pensábamos que el sitio donde estaba el colapso significaba que había un punto donde la compliance bronquial estaba aumentada, pero nos cabía la posibilidad de que el punto de igual presión se hubiera trasladado de modo diferente hacia la periferia en un lóbulo que en otro, es decir que a lo mejor en el lóbulo superior por ejemplo, estaba relativamente cerca del bronquio principal, mientras que en el bronquio, el lóbulo inferior

estaba mucho más lejos, y entonces la caída de presión era mucho mayor en el lobar inferior y la periferia que entre la periferia y el bronquio lobar superior.

**Dr. Macklem:** Sí, estoy de acuerdo con usted. En un paciente en particular, los puntos de igual presión pueden estar en algunos lóbulos más lejos que en la periferia en otro lóbulo mucho más central. Así que no creo que se pueda generalizar



después de haber estudiado un lóbulo, como donde se encuentren los puntos de igual presión y los segmentos comprimidos. En un paciente particular, estoy de acuerdo.

**Dr. Castillo:** ¿A qué volumen pulmonar se han hecho las localizaciones del colapso?

**Dr. Macklem:** En pacientes normales, en pacientes con bronquitis crónica y enfisema, nosotros hemos medido el tamaño (o la señal) de los puntos de igual presión sobre toda la línea de capacidad vital prácticamente, pero por debajo de aproximadamente 25 % de la capacidad disponible, la medición de la presión se hace inexacta. En perros podemos medirla por encima de una línea de volumen mucho más extensa y es en los perros en los que hemos mostrado que los puntos de igual presión, a unos volúmenes pulmonares muy bajos, pueden variar dentro de 2 a 3 mm. de diámetro de vías aéreas. Si aumenta el tono de los músculos lisos bronquiales, estimulando el vago, hay un desplazamiento de los puntos de igual presión hacia el alveolo. Probablemente porque la constricción bronquial en la tráquea, el bronquio principal y el bronquio bajo, hace el bronquio menos dúctil, por tanto, más resistente al colapso, permitiendo a los puntos de igual presión ser desplazados a la periferia.

Cortando el nervio vago y quitando el tono del músculo liso, se puede desplazar el punto de igual presión hacia la boca, de modo que de la pérdida de tono resulte un segmento más corto de las vías aéreas, siendo comprimidas. Nosotros hemos visto en perros la señal de los puntos de igual presión por encima de la línea de capacidad vital y la presencia y ausencia del tono del

músculo liso y por encima de una línea limitada en sujetos normales y en pacientes. Todo con mediciones de la presión interbronquial.

**Dr. Castillo:** ¿Tiene valor pronóstico el cambio del punto de igual presión, no a volúmenes pulmonares demasiado bajos, que ya sabemos que se marcha hacia el alveolo, sino a volúmenes pulmonares medios realizados con cinebroncografía?

**Dr. Macklem:** Yo diría que aquellos pacientes que tienen desplazamientos del EPP a la periferia en el volumen medio del pulmón, tienen un mecanismo de tos mejor que aquéllos que tienen EPP localizado en el nivel de bronquio lobar. Hasta ese punto puede tener algún valor el pronóstico. Por otro lado, yo no recomendaría hacer una broncografía en pacientes con grave obstrucción de las vías aéreas con fines clínicos rutinarios, porque es un procedimiento arriesgado y de hecho los estudios que hicimos fueron hechos hace casi 20 años.

Sin embargo yo creo que es concedible, si usted está interesado en tratar de cuantificar esto, puede ser posible determinar donde ocurre la limitación del flujo, y, por tanto, el segmento comprimido en pacientes con grave obstrucción de vías aéreas por medición del grado de flujo en aire y helio, porque yo sospecho que son aquéllos los que tienen el colapso central, los que han mantenido bien la respuesta al helio, puesto que son aquéllos en los que el colapso se extiende periféricamente hacia el alveolo los que pierden entonces la respuesta helio. Esa sería mi suposición. Y sería interesante, por tanto, ver si los respondedores al helio tendrían un pronóstico peor que los no respondedores al helio.