

¿Sabes qué es y para qué se utilizan las ecuaciones de Dillard?

Las ecuaciones de Dillard fueron desarrolladas en un periodo de tiempo comprendido entre finales de los años 80's y la primera mitad de los 90's, con la intención de ser un modelo predictivo de hipoxia para pacientes con EPOC severo, sometidos a condiciones de hipobaría.

$$1. \text{ PaO}_{2\text{alt}} = 0.410 * \text{ PaO}_{2 \text{ nivel del mar}} + 17.652$$

(Valores de PaO₂ en mm Hg)

A través de estudios iniciales, se definió que la PaO₂ al nivel del mar era la variable con mayor correlación con la PaO₂ en altitud, desarrollándose así la primera ecuación (ecuación 1). A partir de allí, se inició el estudio continuado de otras variables que pudiesen afectar la estimación de la PaO₂ en altitud, reduciendo la variabilidad de la misma, no explicada por la PaO₂ al nivel del mar. En esta búsqueda se evidenció que, al incorporar en los estudios la medición del volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF₁) prevuelo, inicialmente como valor absoluto en litros, y luego como porcentaje del VEF predicho, se lograba reducir progresivamente la variabilidad mencionada, luego de realizar los análisis de regresión múltiple. De este modo se desarrollaron 4 ecuaciones a mediados de los años 90 que incorporaron tanto la PaO₂ al nivel del mar, como el VEF₁ y la relación de este con la capacidad vital forzada (CVF).

Pocos años antes, a mitad de los 80's, Gong y su equipo habían desarrollado también una ecuación a partir de experimentos hechos con hipoxia hipobárica simulada con mezcla de gases, en pacientes con obstrucción crónica de la vía aérea, normocápnica. Esta ecuación también contempla la PaO₂ en tierra como la variable con mayor capacidad predictiva de la PaO₂ en altitud, no así los datos de función pulmonar:

$$\text{PaO}_{2 \text{ alt}} = 22.8 - (2.74 * \text{ altitud en miles ft}) + (0.68 * \text{ PaO}_{2 \text{ nivel del mar}})$$

Desde entonces muchas otras ecuaciones se han desarrollado, entre las cuales, y según opinión de expertos en neumología, resaltan dos: la ecuación de Muhn, descrita en una publicación de *Aviation Space and Environmental Medicine* de 2004 y que aplica para personas sanas y pacientes con EPOC, y la ecuación de Christensen, descrita en publicación del *European Respiratory Journal* del 2002, de aplicación para pacientes con trastornos restrictivos.

Aún cuando el uso de estas ecuaciones resulta de amplia utilidad en el contexto de la consulta ambulatoria, es importante tener en cuenta algunos aspectos en el momento de echar mano de ellas:

- No toman en cuenta otras patologías que puedan coexistir en el paciente (cardiovascular, neurológica, hematológica, del sueño, etc.) y que en si mismas, asociadas a la condición de hipobaría, exacerben la hipoxia ya predicha por la condición pulmonar. Del mismo modo, no toman en cuenta el nivel de hipoxia que pueda alcanzar el paciente cuando se encuentra en condiciones de actividad física, tal como ocurre con los desplazamientos a

los servicios del avión, o mientras duerme, circunstancias muy frecuentes especialmente en los vuelos de largo radio.

- A partir de su aplicación, si bien se puede estimar el nivel de hipoxia del paciente, no se puede predecir el flujo de oxígeno que requerirá durante el vuelo para corregir el déficit.
- Tienen unos amplios límites de confianza, que hacen que en algunos casos, como se demostró en un estudio realizado en 2007 por la Universidad de Belfast, comparando el uso de las ecuaciones con el del test de tolerancia a la hipoxia, se sobre estime la disminución de la PaO₂ en altitud, sobre estimando así el requerimiento de oxígeno en algunos individuos.

El gold standard para la evaluación de hipoxia hipobárica es el estudio en cámara hipobárica. En este escenario las variables de altitud y velocidad de cambios de presión pueden ser simuladas con precisión, al igual que es posible evaluar la respuesta del paciente a situaciones diversas, tales como la actividad física o el sueño; también se puede estimar el requerimiento de flujo de oxígeno necesario. A pesar de estas ventajas, es muy poco utilizado ya que acarrea costos altos y no es frecuente encontrar alguna disponible. Dado esto, se cuenta con un recurso que a pesar de no permitir una simulación tan precisa ni tan amplia versatilidad en los escenarios evaluados, si permite acercarse considerablemente a la misma: el test de tolerancia a la hipoxia dado por simulación de hipoxia isobárica con mezcla de gases. Este test descrito inicialmente por Gong y su grupo de investigación, es de relativa fácil aplicación y se encuentra disponible con mayor facilidad que la cámara hipobárica. Existen diversos métodos para llevarlo a cabo, todos igualmente efectivos y permite una aproximación mas fiel que la que se obtiene a partir de las formulas, además de dar la posibilidad, cuando se realiza en cabina de pletismografía, de titular el flujo de oxígeno necesario para la corrección de la hipoxia en las condiciones de hipobaría presupuestadas.

Existen una serie de criterios recomendados en relación a los pacientes que deben ser candidatos para evaluación prevuelo desde el punto de vista de predicción de la hipoxia, sin embargo, una vez determinada la necesidad de esta evaluación, y de acuerdo a la disponibilidad de recursos, las ecuaciones podrán constituir el escalón inicial de la misma.

Una conducta útil, recomendada por la Sociedad Americana del Tórax, que podría plantearse a la hora de evaluar a los pacientes candidatos para estimación o determinación de hipoxia en altura sería:

- Aplicar la ecuación mas adecuada según la patología de base como prueba de screening, teniendo disponibles previamente los datos necesarios para el uso de la misma, tales como gasimetría arterial, datos de espirometría, o incluso medidas de difusión de monóxido de carbono. Se obtendrán así dos posibles resultados:
 - Valores predichos por encima de 55 mm Hg, que indicarían permitir el vuelo sin suplencia de oxígeno sin requerimiento de estudios ulteriores.

- Valores en parámetros borderline o críticos (50 a 55 o <50 mm Hg) que indicarían realizar el test de tolerancia a la hipoxia para definir la necesidad de suplencia de oxígeno y el flujo requerido, o según la severidad, reevaluar la pertinencia del vuelo o las consideraciones particulares a tomar en cuenta en el mismo.

Yamil A Diab F MD
Especialista Medicina Aeroespacial