

Estimación de la Saturación Arterial de Oxígeno en función de la Altitud

Teófilo Lorente-Aznar^{a,b}, Guillermo Perez-Aguilar^b, Alma García-Espot^b, Sergio Benabarre-Ciria^a, Juan Luis Mendiola-Gorostidi^c, Daniel Dols-Alonso^d, Julia Blasco-Romero^b.

a Unidad Docente de Medicina de Familia, Huesca

b Servicio Aragonés de Salud

c Servicio Vasco de Salud

d Farmacia, Comunidad Valenciana

Autor para correspondencia: T. Lorente Aznar

Unidad Docente de Medicina Familiar y Comunitaria

C/ Felipe Coscolla Nº9

Edificio Gerencia de Sector. 1^a Planta

22004 Huesca

Telf.: 626 121053 y 974 21 01 90 Fax: 974 21 10 92

correo electrónico: tllorente@salud.aragon.es

RESUMEN

Fundamento y objetivo. La saturación arterial de oxígeno (SAO) es capaz de predecir el desarrollo de Mal de Altura. Objetivo: estimar los valores de SAO en función de la altitud. Adicionalmente diseñar un gráfico para usar sobre el terreno que muestre la saturación esperada para cada altitud y sus límites de normalidad

Pacientes y método. Se registraron valores de SAO a los participantes de 8 actividades de alta montaña en Alpes, Himalaya, Cáucaso y Andes. Participaron 53 montañeros, 17 de ellos repitieron en más de una actividad. Se registraron 761 mediciones de SAO.

Resultados. Se diseñó un modelo de Regresión Lineal Múltiple para estimar los valores de SAO en función de la altitud, ajustados por distintos posibles factores relacionados. Existe una fuerte relación lineal entre Altitud y SAO ($R^2=0,83$, $p<0,001$). Dando valores 0,7 puntos mayores en mujeres. La SAO a una determinada altitud no se relaciona con la edad, el peso, la talla, el tabaquismo, la frecuencia cardíaca ni con la experiencia previa en montaña.

El cálculo de la estimación de la SAO responde a la siguiente ecuación: $SAO= 103,3 - (altitud \times 0,0047) + (Z)$. Siendo $Z=0,7$ en hombres y 1,4 en mujeres.

Se ha diseñado una gráfica de coordenadas que relaciona la altitud con los valores estimados de SAO con sus límites de normalidad: percentiles 2,5 y 97,5.

Conclusiones. La sencillez en el cálculo de la SAO estimada para una determinada altitud mediante la gráfica propuesta ayudará en la toma de decisiones tempranas sobre el terreno.

Palabras clave. Mal de Altura, Montañismo, Pulsioximetría, Saturación Arterial de Oxígeno.

Estimation of Arterial Oxygen Saturation in relation to Altitude

Introduction and objectives. Arterial Oxygen Saturation (SAO) predicts High Altitude Illness. Objective: estimate the SAO values with relation to altitude. Furthermore, make a graph to use during activity which assesses the SAO for each altitude and the normal range.

Patients and method. Values of SAO were assessed during eight high mountain activities in the Alps, Himalaya, Caucasus and Andes. 53 mountaineers participated, 17 of them in more than one activity. 761 measurements of SAO were registered.

Results. A Logistic Regression Model was made to estimate the SAO values dependent on altitude, adjusted to possible related factors. A strong lineal relationship exists between altitude and SAO ($R^2=0.83, p<0.001$). 0.7 points more in women. The SAO in a particular altitude is not related to age, weight, height, smoking, heart rate, and even with previous experiences in mountains.

The calculation of the SAO responds to the follow equation: Blood Oxygen Saturation=103.3 – (altitudex0.0047)+(Z). Being Z=0.7 in men and 1.4 in women.

A scatterplot was made to relate the estimated altitude with the SAO, with their normal limits values: percentiles 2.5 and 97.5.

Conclusions. The simple calculation of the SAO estimated for a particular altitude with the graphic proposed can help in the early decision making on site.

Key words. Altitude Sickness, Mountaineering, Pulse Oximetry, Arterial Oxygen Saturation.

Estimación de la Saturación Arterial de Oxígeno en función de la Altitud

INTRODUCCION

Distintas actividades lúdicas, deportivas o profesionales acercan al hombre a la montaña. Sucede que a partir de cierta altitud, habitualmente por encima de los 2.500 m, existe el riesgo de padecer trastornos médicos relacionados con la altitud, englobados en un término general: Mal de Altura (MA o "High Altitude Illness"). Esto suele suceder cuando se asciende a gran altitud de forma muy rápida, sin realizar medidas que garanticen una adecuada y progresiva aclimatación^{1,2}.

Lo habitual es que las enfermedades relacionadas con la altitud sean un desagradable pero benigno y autolimitado síndrome consistente principalmente en cefalea, náuseas y anorexia, es el denominado Mal Agudo de Montaña (MAM o "Acute Mountain Sickness"). Pero existen formas graves de MA, y entre los síndromes más conocidos se encuentran el Edema Cerebral de Altura (HACE, "high-altitude cerebral edema") y el Edema Pulmonar de Altura (HAPE, "high-altitude pulmonary edema"). Estos últimos síndromes pueden ser incluso fatales si no se reconocen y tratan precozmente^{3,4}.

El Grupo de Consenso del Lago Louise define el MAM como la presencia de cefalea en una persona no aclimatada que ha ascendido recientemente a una altitud superior a 2.500 m, más la presencia de uno o más de los siguientes eventos: síntomas gastrointestinales (anorexia, náuseas o vómitos), insomnio, mareo o astenia⁵. El mismo Grupo consensuó una Escala de Puntuación del MAM en adultos (rango 0-15), según la cual, 3 o más puntos en la escala auto-cumplimentada implica una afección leve, y con 5 o más la afección es considerada moderada grave.

Se estima que cuando se asciende rápidamente por encima de 2.500 m, alrededor de un 9-25% de las personas sufren MAM, por encima de 3.000 m alcanza el 13-42% y a más 4.500 m la incidencia puede exceder del 50%. Los cuadros más graves como el HACE y HAPE son más raros: alrededor de 0,01% a 2.500 m, del 1% a 4.000-5.000 m, y por encima de 5.500 m alcanzan el 2,5-15,5%⁶⁻⁸.

Los síntomas ocurren típicamente a las 6-12 horas tras haber ascendido, aunque a veces son tan precoces como en 1 hora, o tan tardíos como hasta pasados 3 días. El MA se ve con más frecuencia en aquellas personas que tienen su residencia a nivel del mar, en menores de 50-60 años y en aquellos que han sufrido MA previamente. Su aparición se ve favorecido por la realización de esfuerzos físicos, y llama la atención que un buen estado físico no resulta protector^{2-4,6,8}.

El problema fisiopatológico de base es la hipoxia hipobárica, que se presenta conforme la presión parcial de oxígeno y la SAO disminuyen con la altura. La hiperventilación compensa inicialmente la hipoxemia, pero a partir de unos 3.000 m las desaturaciones son inevitables^{1,4}.

Valores pulsioximétricos de SAO anormalmente bajos parecen estar relacionados con mala adaptación a la altura y son habituales en los casos de MAM grave. De mayor trascendencia serían las observaciones de su posible capacidad predictiva para los problemas de aclimatación a la altura y para el desarrollo posterior de MA; incluso se ha sugerido que la severidad del MA sería proporcional al descenso de SAO. Aunque acerca de estos hechos no existe un acuerdo generalizado^{9,10}, las últimas publicaciones parecerían apoyar dicha capacidad predictiva¹¹⁻²⁰.

La realización de actividades deportivas en alta montaña se relaciona con la aparición de MA, su incidencia es mayor durante el ejercicio que en reposo. Adicionalmente, los estudios que han valorado la SAO tras ejercicio también parecen encontrarle capacidad predictiva para el desarrollo de MA; y esto es así tanto en mediciones realizadas tras la actividad habitual de alpinismo en altura¹⁵, como tras ejercicios protocolizados¹⁷.

Actualmente podemos realizar sobre el terreno estimaciones no cruentas de la SAO mediante pulsioxímetros digitales de bolsillo; se trata de instrumentos asequibles, ligeros y razonablemente válidos en comparación con los valores obtenidos por gasometría arterial (error máximo de 2-3% en el rango de saturaciones 70-100%). Existe un acuerdo generalizado en la literatura en que el empleo de la pulsioximetría es altamente recomendable en alta montaña. Senderistas, alpinistas, trabajadores o residentes en altura se

ven beneficiados por su empleo. Se ha probado su utilidad en la evaluación del paciente enfermo o sintomático y en el seguimiento y monitorización del paciente con enfermedades cardiovasculares²¹.

Claramente la SAO disminuye con la altura, pero la cuestión clave y como veremos el planteamiento fundamental de este estudio, es conocer cuáles son los valores normales de SAO para cada altitud. Numerosos estudios han realizado mediciones de SAO a distintas altitudes con variados objetivos, en ocasiones con altitudes simuladas *in vitro* con cámaras hipobáricas^{12,14}. Salvo pocas excepciones²³, se trata de muestras con pocos individuos, escasas mediciones, limitado rango de altitudes o demasiada variabilidad como para poder definir intervalos de normalidad de SAO según altitud y extrapolarlos a la población general^{21,24-29}.

La estimación de los valores de SAO para una determinada altitud pueden calcularse mediante normogramas o ecuaciones obtenidas con modelos de regresión^{17,23,26,29}. Estas estimaciones, más o menos precisas en función del tamaño de la muestra empleada para su cálculo, son ciertamente útiles, pero quizás resulten poco operativas sobre el terreno, que normalmente suele ser alta montaña.

Por todo ello podría resultar conveniente la definición más precisa de cuáles son los valores que se esperan de SAO a distintas altitudes, a fin de que dicha información pueda servir de apoyo en la toma de decisiones y la discriminación entre distintos estados patológicos. Sería de gran interés disponer de una sencilla herramienta en forma de tabla o gráfica que pudiera darnos los valores de SAO para cada altitud, con indicación de los límites de normalidad. Se podría evaluar sobre el terreno si una determinada persona presenta valores anormalmente bajos, y poder ayudar en el control de una patología cardiopulmonar o advertir de un posible desarrollo de MA.

Nos proponemos como objetivos estimar cuáles son los valores normales de SAO en función de la altitud, y establecer un intervalo que acote los límites de normalidad de dichos valores. Por otra parte, conocer qué factores se relacionan con la SAO, y adicionalmente, diseñar una herramienta para usar sobre el terreno, en forma de tabla o gráfico, que muestre de manera clara y rápida la saturación esperada para cada altitud y sus límites de normalidad.

PACIENTES Y METODOS

Se estudiaron los montañeros participantes en 8 actividades de alta montaña llevadas a cabo entre 2.010 y 2.015. En el Himalaya Nepalí: las travesías del Campo Base del Everest-Gokyo (cota máxima: 5.357 m), la del Manaslu (cota máxima 5.100 m), y la ascensión al Island Peak (6.190 m). En Alpes: las ascensiones al Mönch (4.107 m) y al Gran Paradiso (4091 m). En la Cachemira hindú: el trek de Ladakh (cota máxima 5.015 m). En Cáucaso: la ascensión al Elbrus (5.642 m). Y en Andes: las ascensiones al Chacaltaya, Pequeño Alpamayo y Huayna Potosí (6.088 m). Las actividades fueron seleccionadas para el estudio porque en ellas había formado parte alguno de los autores.

Se ofreció la participación a los 53 montañeros integrantes de dichas actividades, solicitando su consentimiento para recoger información clínica relacionada con el estudio. Se obtuvieron datos de edad, sexo, peso, talla, altitud de la localidad de residencia habitual, antecedentes personales de padecimientos físicos, tabaquismo, consumo habitual de fármacos, experiencia previa en alta montaña a más de 4.000 m, anteriores situaciones de MAM, frecuencia cardíaca y SAO.

El diagnóstico y graduación del MAM se realizó mediante la “Escala Auto-cumplimentada del Grupo de Consenso del Lago Louise” (LLa)⁵.

Para las mediciones de SAO se empleó un pulsioxímetro ChoiceMMed Fingertip MD300C2. Todas las mediciones fueron realizadas por 2 de los autores con objeto de minimizar la variabilidad inter-observador. En la ejecución del protocolo de las mediciones se siguieron las recomendaciones técnicas para minimizar problemas de validez o fiabilidad²¹⁻²². A poco de alcanzar una altitud determinada y sin aclimatación previa, se procedía a llevar a cabo la medida de la SAO por pulsioximetría. Los participantes debían permanecer en sedestación, tras al menos 5 minutos de reposo, procurando mantener caliente el dedo de la medición, limpio de laca de uñas, con la respiración relajada y protegidos de la luz directa. Debía confirmarse gráficamente una onda de pulso limpia y rítmica y la cifra del pulsioxímetro debía permanecer estable. En caso de irregularidades, se deberían realizar varias mediciones y se calcularía la media.

Análisis estadístico. Se diseñó un modelo de regresión lineal múltiple para explorar la relación entre la altitud y la SAO, ajustada por los posibles factores relacionados: sexo, edad, frecuencia cardíaca, índice de masa corporal (IMC), tabaquismo, altitud de la residencia habitual, experiencia en alta montaña e historia previa de MAM. La relación entre ellas se cuantificó con coeficientes de Correlación de Pearson y con el de Determinación (R^2).

Se planteó un modelo predictivo de regresión para obtener una ecuación que nos permitiera calcular la estimación de la SAO para una altitud determinada.

Se diseñó una gráfica con un diagrama de coordenadas para representar visualmente la relación observada entre altitud-SAO. Se seleccionó la curva que mejor representaba la distribución con el mejor ajuste de los valores, en base a su mejor coeficiente de Determinación R^2 . Se crearon intervalos de normalidad especificando los percentiles 2,5 y 97,5 de la estimación de SAO para cada altitud, para poder acotar el 95% central de los valores.

El umbral de significación se fijó en 0,05 para todos los análisis.

Se emplearon los paquetes estadísticos SPSS® y STATA®.

RESULTADOS

Participaron en el estudio 53 montañeros, 17 mujeres y 36 hombres, que fueron todos los integrantes de las 8 ascensiones y travesías descritas, sin que ninguno de ellos rechazara su participación. 17 de ellos formaron parte de más de una actividad. Entre los participantes había 7 guías titulados de alta montaña. Se trataba de un grupo heterogéneo de montañeros, procedentes de varias comunidades autónomas españolas, con distinta experiencia en alta montaña y pertenecientes a 10 clubs de montaña distintos, que tenían en común haber participado junto con alguno de los autores en las actividades montañeras descritas. Las características de los participantes figuran en la tabla 1.

Un total de 1.098 determinaciones de SAO fueron realizadas sobre el terreno a distintas altitudes. Pero teniendo en cuenta el efecto de la aclimatación al permanecer un tiempo a la misma altitud, las mediciones repetidas a un mismo individuo en la misma altitud fueron excluidas. Así, el número de determinaciones empleadas para el análisis fue de 761.

Durante el estudio se presentaron 5 casos de MA que precisaron descenso urgente y tratamiento intensivo específico. Tres de ellos afectos de MAM grave, un caso de HAPE a 5.200 m y el otro de HACE a 5.400 m. Los detalles de dichos casos se muestran en la tabla 2. Los valores de SAO que presentaban los 5 casos estaban claramente por debajo de los valores medios esperados para la altitud a la que se encontraban, según pudo comprobarse en la gráfica que se elaboró a posteriori con el presente estudio (Figura 1).

Se diseñó un modelo de Regresión Lineal Múltiple para estimar los valores de SAO en función de la altitud, ajustados por distintos posibles factores relacionados. Se apreció que existe una fuerte relación lineal entre altitud y SAO ($R^2=0,837$, $F=1.892,9$, $p<0,001$). Dando valores muy ligeramente distintos en función del sexo, siendo alrededor de 0,7 puntos mayor en mujeres que en hombres. La SAO a una determinada altitud no se relaciona con la edad, el peso, la talla, el hábito tabáquico, la frecuencia cardíaca ni con la experiencia previa en alta montaña.

Mediante un modelo predictivo de Regresión Lineal Múltiple, se ha podido establecer que el cálculo de la estimación de la SAO responde a la siguiente formulación:

$$\text{SAO} = 103,3 - (\text{altitud} \times 0,0047) + (Z).$$

Siendo $Z=0,7$ en hombres y $1,4$ en mujeres.

$B_{\text{Altitud}} = -0,0047$ (Intervalo de confianza del 95%: -0,0046 a -0,0049)

$Z_{\text{sexo}} = 0,708$ (Intervalo de confianza del 95%: 0,2 a 1,2).

Para la representación gráfica de la relación altitud-SAO, el modelo lineal, aunque válido, no parecía el más adecuado ($R^2=0,837$), resultando más precisas las estimaciones curvilíneas del modelo cúbico ($R^2=0,901$) o del cuadrático ($R^2=0,902$). A partir de este último modelo se diseñó la gráfica de estimación de la SAO en función de la altitud (Figura 2).

Para una determinada altitud la gráfica muestra los límites de normalidad (percentiles 2,5 y 97,5). Entre estos límites se encuentra el 95% central de los valores de SAO; solo un 5% de los individuos presentarán valores extremos fuera de esos límites.

DISCUSION

Las montañas suponen un fuerte atractivo para muchos de nosotros. Conforme sigan siendo populares las actividades lúdicas, deportivas o profesionales y la residencia en lugares de elevada altitud, los sanitarios deberemos permanecer vigilantes ante la posibilidad de aparición del Mal de Altura.

Ha podido apreciarse de forma gráfica, un descenso peculiar de la SAO al aumentar la altitud, un hecho que ya era conocido²⁶. Pero cuando las lecturas de SAO son numerosas, como en el presente estudio, llama la atención que su particular distribución se ajusta muy bien a una curva perfectamente definida, con un coeficiente de determinación, esto es, un grado de ajuste de los valores a la curva muy alto, superior al 90%.

Se han publicado anteriormente otras gráficas que relacionan altitud y SAO, alguna de ellas con lecturas obtenidas a más de 6.500 m^{4,12,21,26,27}. La gráfica de la Figura 2 tiene la ventaja de haber sido diseñada en base a un elevado número de mediciones de SAO, procedente de una importante muestra heterogénea de montañeros; este hecho ha permitido diseñar la curva y sus intervalos de normalidad con suficiente detalle como para poder realizar a partir de ella estimaciones válidas de la SAO según altitud.

La estimación de la SAO mediante la ecuación propuesta muestra un buen acuerdo con otras ecuaciones publicadas. Concretamente la estimación de SAO para 4.000 m en hombres según nuestra ecuación sería de 84%, similar a la obtenida mediante la ecuación de Botella de Maglia²³: 83-90% (según grado de aclimatación). La gráfica de la Figura 2 nos daría una lectura estimada para 4.000 m de media 87% y límites: 81-92%.

Un detalle que llama la atención de la ecuación de predicción es la diferencia en la SAO estimada por sexos, ya que para una misma altitud, las mujeres presentan valores 0,7% más elevados. Este hecho aunque pocas veces señalado, coincide casi exactamente con lo observado por Ricart et al. en 2.008³⁰. Una hipótesis para explicar este fenómeno, ya apuntada por los citados autores, estaría relacionada con el contenido arterial de oxígeno, que es directamente proporcional a las cifras de hemoglobinemia y la SAO. Teniendo en cuenta que es un hecho que la hemoglobina media es menor en mujeres jóvenes que en hombres, para mantener un contenido arterial de oxígeno similar entre ambos sexos, la SAO debería ser más alta en ellas.

De cualquier forma, el empleo del pulsioxímetro para estimar la saturación arterial de oxígeno tiene sus limitaciones. Por un lado, la posibilidad de los falsos positivos por patologías diversas: arteriopatía periférica, embolismos pulmonares, neumonía, neumotórax, derrames pleurales, y en general, otras patologías que cursen con hipoventilación. Aunque una adecuada exploración clínica puede descartar la mayoría de estas causas²¹. Por otra parte, hay que considerar otras limitaciones como la variabilidad individual en las cifras de SAO, la limitada exactitud de los aparatos digitales portátiles y la posibilidad de mediciones sesgadas por factores relacionados con la técnica de medición.

La pulsioximetría no parece claramente adecuada para valores extremos de SAO, fuera del intervalo 70-100%²¹. Distintas circunstancias pueden dificultar la técnica: la pobre perfusión en dedos por vasoconstricción por el frío, la hipotensión arterial, las hipovolemias, la insuficiencia cardíaca, las arritmias o la anemia. Las cifras se ven interferidas por los movimientos, temblores, escalofríos, por la laca de uñas, o por la excesiva luz ambiental²².

A pesar de todo ello, se trata de un instrumento muy recomendado por su utilidad demostrada, y perfectamente apto para su uso al aire libre, siempre que se tomen las medidas necesarias para garantizar validez y fiabilidad²¹.

Otras limitaciones del presente estudio se refieren a selección de los participantes. Ciertamente la selección de la muestra no se ha efectuado mediante un procedimiento aleatorio, pero en estudios de estas características sería muy poco operativo y ciertamente difícil de conseguir. Este hecho podría cuestionar la

generalización de los resultados. No obstante, el relativamente alto número de participantes y la importante heterogeneidad de sus características (ambos sexos, procedencia variada, amplio rango de edades y de experiencia montañera) hace que pueda pensarse que los hallazgos resultantes puedan extrapolarse sin generar sesgos importantes.

Es preciso hacer notar que las estimaciones que puedan calcularse con la ecuación o mediante la gráfica de la figura 2, no deben realizarse para altitudes fuera del rango de las estudiadas, tan solo hasta los 6.500 metros.

Los hallazgos de este estudio no permiten apoyar o descartar la hipótesis de la capacidad predictiva de la SAO para el futuro desarrollo de MA, no podía ser de otra forma al tratarse de un estudio transversal y no prospectivo. Pero los resultados de las mediciones permiten contestar la pregunta del objetivo de este estudio acerca de cuáles serían los valores normales de SAO para una determinada altitud.

Algunos autores han sugerido complementar las mediciones de SAO en reposo con test simples o con pruebas de ejercicio físico sencillas: pequeñas caminatas o trotes ligeros. Sería una interesante estrategia para mejorar la capacidad de la pulsioximetría como predictora de MA^{11,15,17}.

Lo que debe de quedar claro es que las medidas más eficaces relacionadas con el MA son las preventivas. Parece haber acuerdo en que una de las claves es la de realizar ascensos lentos para favorecer la aclimatación. La causa que provoca MA con más frecuencia es ascender muy alto, demasiado rápido. Concretamente se recomienda ascender no más de 300-500 m al día por debajo de 3.000 m, y hacer un día de descanso por cada 3-4 días de actividad. Se recomienda dormir a una altitud menor de la que se ha alcanzado cada día (“climb high and sleep low”). Por encima de 3.000 m, no se recomienda dormir a más de 300 m de la noche anterior y tomar un descanso por cada 1.000 m ascendidos^{1,2,4,8,28}.

En situaciones de bajo riesgo, la profilaxis con fármacos no es necesaria, se recomienda un ascenso gradual. En casos de moderado o alto riesgo, o cuando no hay tiempo para seguir las recomendaciones de aclimatación (p.ej: servicios de urgencia), existe acuerdo en que la Acetazolamida (125mg./12 horas) es el fármaco recomendado para la profilaxis de MAM y HACE, y de segunda elección la Dexametasona 4mg/ 12 horas. En casos susceptibles de HAPE que deban ascender rápido se recomienda el Nifedipino (30mg/12 horas)^{1-4,8,28}.

Uno de los puntos clave en el tratamiento es el reposo. Ante cualquier síntoma de posible MA, no se debe seguir ascendiendo; y si los síntomas no mejoran es recomendable descender. El oxígeno es el número uno de las medidas que pueden aplicarse para el MA.

Como conclusión, hemos podido apreciar el importante papel que juega la pulsioximetría en el control de la patología relacionada con la altura y su utilidad sobre el terreno. Se ha cuantificado la fuerte relación que hay entre altitud y SAO, y el hecho de que se ve ligeramente modificada por el sexo. El valor de la SAO para una altitud determinada puede calcularse con alto grado de precisión por medio de una ecuación concreta. Esta información se ve completada con la gráfica de la Figura 2, que modeliza la relación altitud-SAO. Así, de una forma sencilla y rápida puede comprobarse si el valor de la SAO medida a una determina persona se encuentra entre los límites de normalidad del 95% de la población. Conociendo el hecho de que exageradas desaturaciones de oxígeno podrían estar relacionadas con descompensaciones cardiorrespiratorias, con problemas de aclimatación o ser predictoras del desarrollo de MA, las consecuencias de constatar un resultado anormalmente bajo para lo que se debería esperar, resultarán decisivas para la toma de decisiones sobre un sujeto en particular.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a los montañeros que han colaborado desinteresadamente en el presente estudio, en ocasiones en lugares y circunstancias atmosféricas complicadas: Adolfo O, Alma G, Ana H, Ana O, Ana Z, Ángel S, Antonio C, “Barni”, Begoña L, Belén A, Belén P, “Camus”, Carlos L, Carmen B, Carmen S, Celia S, “Chapi”, “Cheiro”, Chenia P, Dani A, Dani D, Eduardo

S, Ernesto T, Félix J, Guille P, Javier F, Javier M. Juan Carlos F, Juan Luis M, Joan J, Jorge G, José Ángel R, José S, Julia B, Manuel S, Mariví D, Miguel R, Moisés G, Nacho G, Francisco P, Pedro A, Rafa C, Raquel A, Raúl L, Ricardo C, Rubén R, Rubén C, “Sasha”, Silvia A, Silvia M, Teo L, Vicente Mnez, y Vicente Mate.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Garrido Marín E, Botella de Maglia J. El mal de montaña. *Med Clin (Barc)*. 1998; 110: 462-468.
- 2 Luks AM, McIntosh SE, Grisomm CK, Auerbach PS, Rodway GW, Schoene RB et al. *Wilderness Medical Society consensus guidelines for the prevention and treatment of acute altitude illness: 2014 Update*. *Wilderness & environmental medicine*. 2014; 25: S4-S14.
- 3 Hackett PH, Roach RC. *High-Altitude Illness*. *N Eng J Med*. 2001; 345: 107-114.
- 4 Botella de Maglia J. *Mal de Altura. Prevención y tratamiento..* Madrid. Ediciones Desnivel 2002.
- 5 Roach RC, Bärtsch P, Oelz O, Hackett PH. The Lake Louise acute mountain sickness scoring system. In Sutton JR, Houston CS, Coates G eds. *Hypoxia and molecular medicine*. Burlington, VT: Charles S. Houston. 1993: 272-4.
- 6 Honigman B, Theis MK, Koziol-McLain J, Roach R, Yip R, Houston C, Moore LG. Acute mountain sickness in general tourist population at moderate altitudes. *Ann Intern Med*. 1993; 118: 587-592.
- 7 Maggiorini M, Bhler B, Walter M, Oelz O. Prevalence of acute mountain sickness in the Swiss Alps. *Br Med J*. 1990; 301: 853-5.
- 8 Bärtsch P, Swenson ER. Acute High-Altitude Illnesses. *N Eng Med J*. 2013; 368: 2294-302.
- 9 O'connor T, Dubowitz G, Bickler PE. Pulse oximetry in the diagnosis of acute mountain sickness. *High Alt Med Biol*. 2004; 5: 341-8.
- 10 Wagner DR, Knott JR, Fry JP. Oxymetry fails to predict acute mountain sickness or summit success during a rapid ascent to 5640 meters. *Wilderness Environ Med*. 2012; 23: 114-21.
- 11 Roach RC, Greene ER, Schoene RB, Hackett PH. Arterial oxygen saturation for prediction of acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med*. 1998; 69: 1182-5.
- 12 Burtscher M, Flatz M, Faulhaber M. Prediction of susceptibility to acute mountain sickness by SAO values during short-term exposure to hypoxia. *High Alt Med Biol*. 2004; 5: 335-40.
- 13 Burtscher M, Szubski C. Prediction of the susceptibility to AMS in simulated altitude. *Sleep Breath*. 2008; 12: 103-8.
- 14 Faulhaber M, Wille M, Gatterer H, Heinrich D, Burtscher M. Resting arterial oxygen saturation and breathing frequency as predictors for acute mountain sickness development: A prospective cohort study. *Sleep Breath*. 2014; 18: 669-674.
- 15 Karinen HM, Peltonen JE, Kähönen M, Tikkanen HO. Prediction of acute mountain sickness by monitoring arterial oxygen saturation during ascent. *High altitude Medicine & Biology*. 2010; 11: 325-443.
- 16 Mandolesi G, Avancini G, Bartesaghi M, Bernardi E, Pomidori L. Long-Term monitoring of oxygen saturation at altitude can be useful in predicting the subsequent development of moderate-to-severe acute mountain sickness. *Wilderness & Environmental Medicine*. 2014; 25: 384-391.
- 17 Garofoli A, Montoya P, Elias C, Benzo R. Ejercicio y la detección del mal agudo de montaña. *Medicina (Buenos Aires)*. 2010; 70: 3-7.
- 18 Basnyat B. Pro: Pulse oximetry is useful in predicting acute mountain sickness. *High Altitude Medicine & Biology*. 2014; 15: 440-1.
- 19 Tannheimer M, Thomas A, Gerngross H. Oxygen saturation course and altitude symptomatology during an expedition to broad peak (8047 m). *Int J Sports Med*. 2002; 23: 329-35.
- 20 Koehle MS, Guenette JA, Warburton DE. Oximetry, heart rate variability, and the diagnosis of mild-to-moderate acute mountain sickness. *Eur J Emerg Med*. 2010; 17: 119-122.
- 21 Luks AM, Swenson ER. Pulse Oximetry at High Altitude. *High Altitude Medicine & Biology*. 2011; 12: 109-119.
- 22 World Health Organization. *Pulse Oximetry Training Manual*. WHO press. Geneva, Switzerland. 2.011.
- 23 Botella de Maglia J, Compte Torrero L. Saturación arterial de oxígeno a gran altitud. Estudio en montañeros no aclimatados y en habitantes de alta montaña. *Med Clin (Barc)*. 2005; 124: 172-6.
- 24 Avellaneda ML, Borderías L, Rubio S, Santolaria S, Olivan M, Cuchi JA. Modificaciones de la saturación de oxígeno (SO₂) durante la exposición subaguda a altitud moderada. *An Med Socor Mont* 2005; 2: 13-19.
- 25 Botella de Maglia J, Real Soriano R, Compte Torrero L. Saturación arterial de oxígeno durante la ascensión a una montaña de más de 8.00 metros. *Med Intensiva*. 2008; 32: 277-81.
- 26 Hackett PH, Roach RC: *High-Altitude Medicine*. In: Auerbach PS (ed): *Wilderness Medicine*, 3rd edition; Mosby, St. Louis, MO 1995; 1-37.

- 27 Peacock AJ, Jones PL. Gas exchange at extreme altitude: results from the British 40th anniversary Everest expedition. *Eur Respir J* 1997; 10: 1439-1444.
- 28 Wedmore I, Laselle BT. Altitude Illness: Strategies In Prevention, Identification, And Treatment. *Emergency Medicine Practice*. 2007; 9: 1-24.
- 29 Valliere D, O'Reilly N. Acclimatization in high-altitude sport: predictive modeling of oxygen saturation as an expedition management tool. *Sport Journal* [Internet]. 2007; 10 (2): [About 12 p]. Available from: <http://thesportjournal.org/article/acclimatization-in-high-altitude-sport-predictive-modeling-of-oxygen-saturation-as-an-expedition-management-tool/>.
- 30 Ricart A, Pages T, Viscor G, Leal C, Ventura JL. Sex-linked differences in pulse oxymetry. *Br J Sports Med* 2008; 42: 620-621.

Tabla 1. Características de los participantes en el estudio

Número de participantes	53
Mediciones de SAO realizadas	1098
Mediciones de SAO útiles	761
Sexo (% varones)	68%
Edad media y (límites)	38,3 años (24-60)
Comunidad de origen	Aragón 12 Castilla-León 18 Cataluña 5 Madrid 9 Navarra 2 País Vasco 3 Valencia 2 Otros países 2
IMC	24,3 (17-31)
Peso	73 kg (44-97)
Talla	173 cm (150-193)
Experiencia en >4000m	28%
Tabaquismo	11%
Historia previa de MAM	3 de los 53
Consumo de ansiolíticos	2
Diabetes	1
Hipertensión Arterial	7

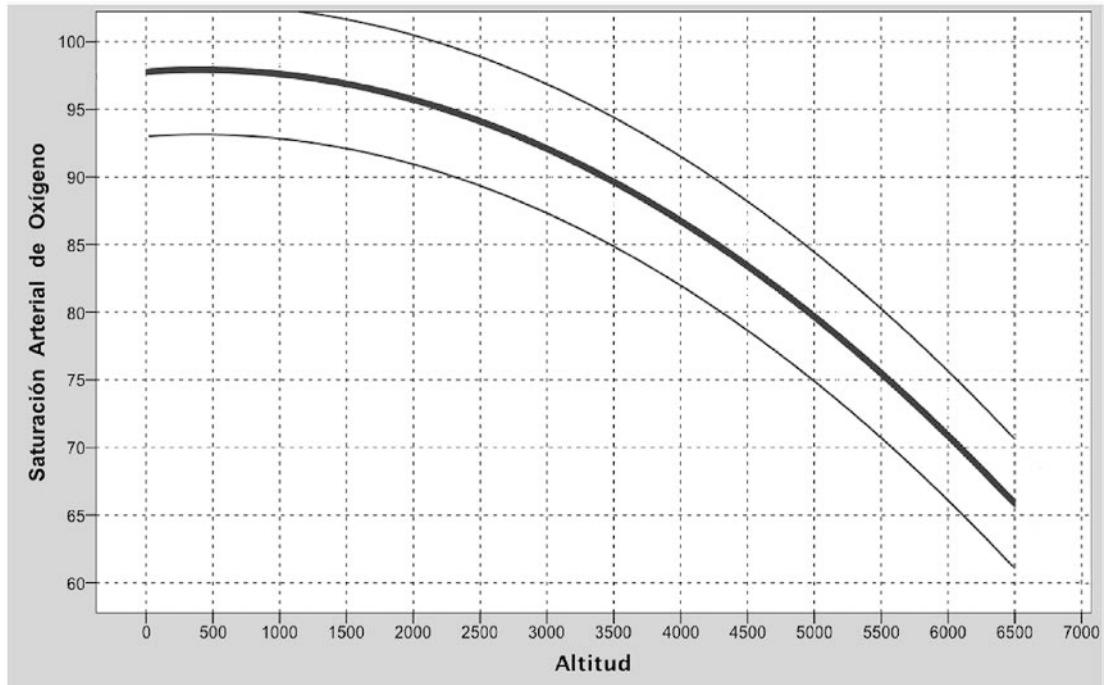
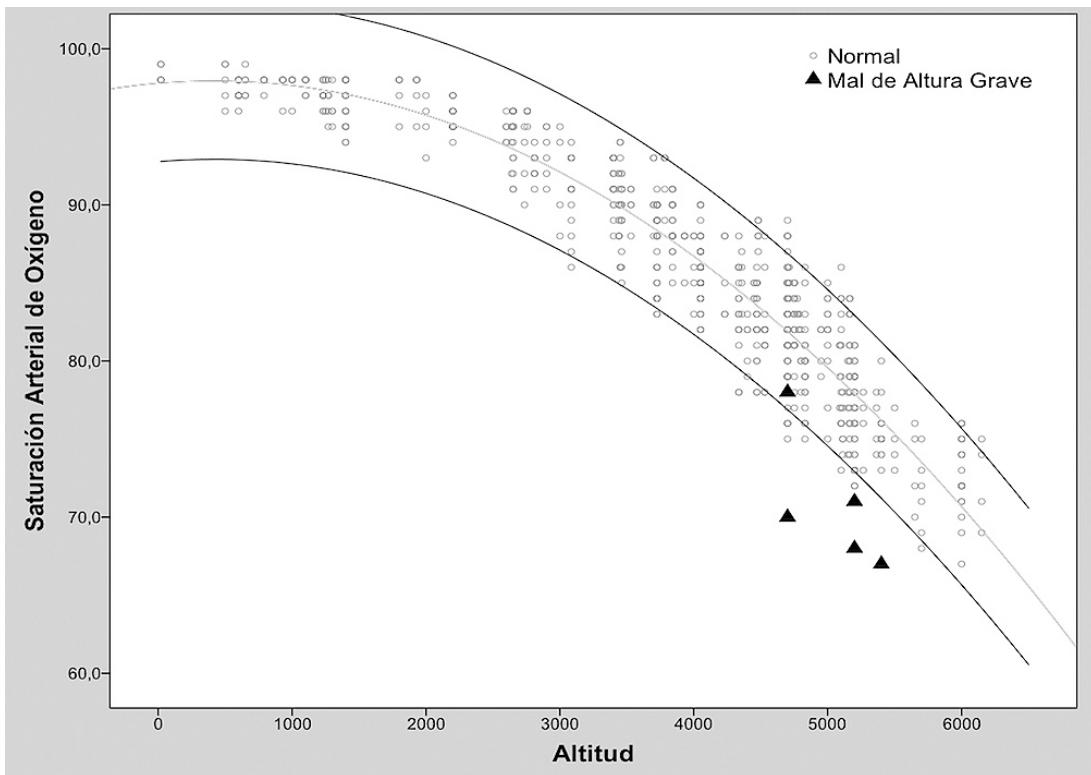
Tabla 2. Casos de Mal de Altura.

	Sexo	Edad	Lugar	Altitud (metros)	Clínica	Destino	SAO Observada	SAO esperada (IC95%)
1	Hombre	36	Andes Peq. Alpamayo	4.700	MAM (LLa:9)	Descenso, reposo Y continuó actividad	70	83 (77-87)
2	Hombre	45	Andes Condoriri	4.700	MAM (LLa:10)	Descenso, reposo Y continuó actividad	78	83 (77-87)
3	Mujer	44	Andes Chacaltaya	5.000	MAM (LLa: 10)	Descenso, reposo Y continuó actividad	68	79 (75-84)
4	Hombre	39	Andes Huayna Potosi	5200	HAPE	Descenso e ingreso hospitalario	71	78 (74-83)
5	Hombre	40	Caucaso Elbrus	5.400	HACE	Descenso Fin actividad	66	75 (71-80)

SAO: Saturación Arterial de Oxígeno

LLa (Escala auto-administrada del cuestionario del Lago Louise)

IC95%: Intervalo de confianza del 95%



Pies de las Figuras

Figura 1. Valores de Saturación Arterial de Oxígeno de los casos de Mal de Altura grave en relación con los límites de normalidad.

Figura 2. Saturación Arterial de Oxígeno en función de la Altitud (Media y Percentiles 2,5 y 97,5).