

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

## Ergometría y cambio climático

Ignasi De Yzaguirre<sup>a,b,\*</sup>, Joan Vives<sup>a</sup>, José Antonio Gutiérrez<sup>a</sup>,  
Daniel Brotons<sup>a</sup> y Antonio Tramullas<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Govern de Catalunya, Barcelona, España

<sup>b</sup>Sociedad Española de Medicina y Auxilio en Cavidades, Barcelona, España

<sup>c</sup>Sports Medicine Barcelona, Barcelona, España

Recibido el 16 de diciembre de 2009; aceptado el 30 de abril de 2010

Disponible en Internet el 6 de julio de 2010

### PALABRAS CLAVE

CO<sub>2</sub>;  
Dióxido de carbono;  
Hipercapnia exógena;  
Contaminación  
atmosférica;  
Cambio climático;  
Ácido láctico;  
Lactato

### Resumen

**Introducción y objetivos:** En la corta historia de la ergometría moderna (50 años aprox.) se han producido notables cambios en la atmósfera que respiramos a nivel de grandes, medianas y pequeñas partículas; también a nivel de la composición gaseosa, con aumentos del gas carbónico (CO<sub>2</sub>) en torno al 125%. Esta situación se agrava dentro de los edificios, que es donde se ubican los laboratorios de fisiología del esfuerzo. El objeto del presente estudio fue comprobar cómo afectan estos cambios atmosféricos a los humanos durante el esfuerzo.

**Métodos:** Se realizó estudio comparativo mediante dos pruebas cicloergométricas, apareadas, en 13 sujetos (12 ♂ + 1 ♀). Una se hizo en la situación habitual del laboratorio (*indoor*) y la réplica se hizo en el mismo laboratorio, dentro de una burbuja con un sistema de filtrado de grandes, medianas y pequeñas partículas, tomando el aire del exterior del laboratorio, (aire libre, *outdoor*). Los parámetros que se controlaron fueron: la potencia máxima conseguida en el cicloergómetro y expresada en vatios (W), los parámetros ergoespirométricos (VO<sub>2max</sub>, VCO<sub>2max</sub>, VE<sub>max</sub>), los parámetros cardiológicos: ritmo cardíaco por minuto y los niveles de ácido 2-hidroxi-propanoico (La<sup>++</sup>) y la glicemia en sangre capilar arterializada.

**Resultados:** No se modificaron estadísticamente los parámetros ergoespirométricos, cardíacos, así como los relativos a la potencia alcanzada en el cicloergómetro, cuando comparamos las dos situaciones estudiadas. Sin embargo, los sujetos mostraron un mayor nivel de lactato arterial capilarizado (+117%) a los 3 minutos de finalizar la prueba en situación *indoor* (7,55 ± 1,81 vs 6,44 ± 1,76 mMol/dl; p < 0,016; n = 13).

Idéntico comportamiento observamos en los niveles de glucosa en sangre capilar, que mostraron un incremento del 112% en la situación habitual (*indoor*) en comparación con los de la burbuja de aire purificado y exterior (glicemia: 90,0 ± 12,2 mg/dl vs 82,15 ± 6,94 mg/dl; p > 0,054 no significativo; n = 13).

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: 14521iym@comb.es (I. De Yzaguirre).

*Discusión:* Los analizadores de gases para estudio metabólico fueron capaces de calibrarse en diferentes atmósferas y determinar correctamente las capacidades y potenciales de estos sujetos, a pesar de los cambios atmosféricos. Las adaptaciones metabólicas fueron suficientes para compensar las diferencias atmosféricas comparadas y permitieron un nivel similar de prestaciones físicas expresadas en la prueba de esfuerzo y también en el comportamiento cardíaco expresado durante la misma atendiendo a los niveles de contaminación en un laboratorio cercano a Barcelona (NE spam).

*Conclusiones:* Los sujetos fueron capaces de adaptarse a los cambios atmosféricos debidos a la progresiva contaminación. No mostraron diferencias en las dos situaciones planteadas en el *análisis metabólico de gases en esfuerzo*, y tampoco hubo cambios en el comportamiento cardíaco. No se modificó la potencia máxima obtenida en el laboratorio. Pero metabólicamente se pagó un precio por la contaminación atmosférica, como muestra la mayor movilización de glucosa en la sangre capilar y también en la mayor producción de lactato capilar en las condiciones del estudio.

© 2009 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### Ergometry and climate change

#### KEYWORDS

CO<sub>2</sub>;  
Carbon dioxide;  
Exogenous  
hypercapnia;  
Atmospheric  
contamination;  
Climate change;  
Lactic acid;  
Lactate

#### Abstract

*Introduction and objectives:* In the short history of ergonomics (approximately 50 years) there have been notable changes in the atmosphere that we breathe, such as large, medium and small particles, as well as the gas composition, with increases in carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) of about 125%. This situation becomes worse within the buildings where the physiology exercise laboratories are located.

The objective of this study was to determine how these atmospheric changes affect humans during exercise.

*Methods:* A comparative study was conducted by means of 2 paired ergometric bicycle tests on 13 subjects (12 males and 1 female). One was carried out in the normal laboratory situation (indoor), and the repeat was done in the same laboratory, with a bubble with a system that filtered large, medium and small particles, breathing the air outside the laboratory (outdoor). The parameters that were controlled were: the maximum power achieved on the ergometric bicycle expressed in watts (W), the ergospirometer parameters (VO<sub>2max</sub>, VCO<sub>2max</sub>, VE<sub>max</sub>), cardiological parameters: heart beats per minute and 2-hydroxypropanoic acid (La<sup>++</sup>) levels and arterialised capillary blood glucose.

*Results:* The ergospirometer and cardiac parameters, or those associated with the power achieved on the ergometric bicycle did not change statistically, when we compared the two situations studied. However, the subjects did have higher levels of arterialised capillary lactate (+117%) 3 min after finishing the indoor situation test ( $7.55 \pm 1.81$  vs  $6.44 \pm 1.76$  mMol/dl,  $P < 0.016$ ;  $n = 13$ ).

We observed identical behaviour in the capillary blood glucose levels, which showed an increase of 112% in the usual situation (indoor) compared to those in the purified (outdoor) air bubble (blood glucose:  $90.0 \pm 12.2$  mg/dl vs  $82.15 \pm 6.94$  mg/dl;  $P > 0.054$  (not significant,  $n = 13$ ).

*Discussion:* The blood gas analysers for metabolic studies can be calibrated in different atmospheres and correctly determine the capacities and potential energy of these subjects, despite the atmospheric changes. The metabolic changes were sufficient to compensate for the different atmospheres compared, and enabled a similar level of physical performance to be expressed in the effort test and also in the cardiac behaviour during the same, considering the levels of contamination in a laboratory near Barcelona.

*Conclusions:* The subjects were able to adapt to the atmospheric changes owing to the gradual contamination. No differences were seen in the two situations established in the metabolic gas analyses under effort, and neither were there any changes in cardiac behaviour. The maximum potential obtained in the laboratory did not change. But, metabolically, a price was paid for atmospheric contamination, as shown by the higher mobilisation of glucose in capillary blood, and also in the higher production of capillary lactate under the conditions of the study.

© 2009 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Introducción

A pesar del enorme impacto periodístico sobre los temas de ecología y medio ambiente<sup>4,5,9</sup>, es poca la investigación que hay en relación al efecto de la contaminación ambiental referente a los niveles de oxígeno (O<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)<sup>9,10,31,32,33</sup> y de las grandes, medias y pequeñas partículas contaminantes en humanos<sup>1,2,6,7</sup>, aunque sí en animales<sup>3,8,11</sup>. Tampoco en la vertiente de la identificación química de las mismas, así como de los compuestos volátiles<sup>12</sup>. Hoy conocemos las modificaciones en la composición del aire que de manera discreta pero constante se ha evidenciado gracias a los registros sistemáticos sobre su composición gaseosa que se llevan a cabo desde la quinta década del siglo xx en la isla oceánica de Mauna Loa<sup>5</sup>.

En la década de los años 50 del siglo pasado los niveles ambientales eran de 300 ppmv ambientales de CO<sub>2</sub> en Mauna Loa (Hawaii) pero hoy están próximos a 400 ppmv (parte por millón de volumen) en el mismo laboratorio<sup>4</sup>. También se han establecido a nivel internacional los niveles de oxígeno y dióxido de carbono aceptables a nivel laboral<sup>15,17-19,28-30</sup>.

Por otra parte, las investigaciones fundacionales de la moderna ergometría fechan en hace más de 50 años, cuando Per Olof Astrand (P.O.Astrand) definió las bases y los parámetros de las pruebas de esfuerzo con análisis de gases espirados. En las pruebas de esfuerzo con análisis de gases se calibran los analizadores (oxígeno y CO<sub>2</sub>), suponiendo que los parámetros ambientales son de 20,9% de oxígeno y 0,03% de CO<sub>2</sub> (300 ppmv de CO<sub>2</sub>).

En Cataluña no se dispone de datos ambientales referentes al CO<sub>2</sub> por parte de la administración<sup>8</sup>, pero según nuestras propias observaciones se encuentran cerca de 450–650 ppmv de CO<sub>2</sub> (tabla 1) en los ambientes más favorables en el aire libre. Dentro de los edificios son habituales cifras de 750–900 ppmv de CO<sub>2</sub> y más cuando hay personas respirando. Lo mismo sucede en ambientes confinados naturales<sup>13,24,25</sup> y artificiales<sup>18</sup>. Nos estamos refiriendo a problemas médicos referentes a los que plantea la adaptación en altitud<sup>14,23</sup> y a los efectos del entrenamiento<sup>26-28</sup> o el propio consumo de tabaco<sup>21,22</sup>.

Las casas que venden analizadores de gases para ergometría recomiendan una única calibración de los aparatos al inicio de la sesión de trabajo. Según nuestras observaciones después de la primera prueba, el nivel ambiental de CO<sub>2</sub> fácilmente llega a 1.500–2.000 ppmv de CO<sub>2</sub>, por lo que una desviación en los parámetros de todas

las pruebas de esfuerzo es una posibilidad a considerar. Eso podría tener relación con la observación hecha por diversos profesionales a los que no les encajan los resultados con las formulaciones hechas por los pioneros del ergometría. (por ejemplo en el valor del cociente respiratorio).

Recientemente se ha publicado el impacto de la contaminación por metales, en pequeños mamíferos en el área de Barcelona (con incrementos de Pb, Cd, Mg, Zn, Cu y Cr) y también un aumento de los efectos genotóxicos en los mismos animales<sup>8,11</sup>.

Publicaciones recientes evalúan la influencia de las partículas PM 2.5 (pequeñas partículas) sobre el aumento de la longevidad de las personas que viven en tres ciudades en las que ha disminuido la contaminación<sup>12</sup>. También en la zona de Barcelona (NE de España) se ha evaluado que hay un impacto negativo, estimado en 14 meses sobre la esperanza de vida, debido a la exposición a las partículas contaminantes en suspensión atmosférica<sup>20</sup>.

En el presente estudio evaluamos el impacto en las pruebas ergométricas en aire libre de partículas y con niveles de oxígeno y de CO<sub>2</sub> ambientales exteriores en comparación con el atmósfera disponible en el ambiente confinado del laboratorio de fisiología del esfuerzo.

## Definiciones

Hipercapnia exógena: hipercapnia generada por exceso de CO<sub>2</sub> aportado desde el exterior del organismo.

## Métodos y material

Se seleccionó un grupo de 15 voluntarios, estudiantes de Formación profesional en Educación Física, de los que 13 consiguieron completar las pruebas.

Todos los voluntarios firmaron el consentimiento informado. El estudio fue sometido a la aprobación del Comité de Ética de Investigaciones Clínicas de la Administración Deportiva de Cataluña. Se procedió en una revisión médica previa, para evaluar su aptitud para el ejercicio.

Se descartó que los sujetos estuvieran afectados por enfermedades crónicas, cardíacas o pulmonares o que pudieran afectar al rendimiento físico. Se distribuyeron en dos grupos según el orden de realización de las pruebas.

El perfil fisiológico de los sujetos se muestra en la tabla 2.

Para la realización de las pruebas ergométricas de tipo máximas se utilizó la ergociclo marca Ergoselec200 de la casa Ergoline GmbH. La recogida de observaciones se hizo sometiendo a los voluntarios a dos pruebas de esfuerzo, idénticas, una en el laboratorio en condiciones invernales (HC) (ventanas cerradas y puerta disponible a la libre circulación de quién entraba y salía del laboratorio) y

**Tabla 1** Valores de CO<sub>2</sub> registrados en el aire libre, exterior del laboratorio en el que se realizó el estudio

Analizador exterior	
Día	CO <sub>2</sub> ppmv
24/04/2009	486
28/04/2009	750
29/04/2009	690
27/04/2009	640
<b>Media</b>	<b>641,5</b>
Desv. estd.	113

**Tabla 2** Perfil fisiológico de los sujetos sometidos a estudio

	Edad	Peso	Talla	IMC	Sexo
<b>Media</b>	<b>21,69</b>	<b>73,13</b>	<b>174,58</b>	<b>23,98</b>	<b>1♀+12♂</b>
Desv. estd.	5,06	10,43	7	2,92	

la otra prueba dentro de una burbuja (BC) con sistema de filtrado de partículas y con presión levemente positiva (+92–93,5hPa) que garantiza, junto al diseño de la burbuja, el lavado permanente del aire en la misma con aire ambiental exterior (BurbujaO<sub>2</sub> de la casa Trilanz S.L., Barcelona, España). Durante las pruebas ergométricas se hizo análisis metabólico de los gases respirados (anализador MS-CPX/SBx/CPx, Jaeger Cardinal Healt, Alemania). Se monitorizó de forma permanente la frecuencia y trazado cardíaco de 12 derivaciones (MS Medcard, Sorinnes, Bélgica) durante la prueba ergométrica y la recuperación. A los 3 minutos de finalizar la prueba se recogió una muestra de sangre arterial capilarizada para determinar el nivel de ácido L 2-hidroxi-propanoico (La<sup>++</sup>) (Lactate Pro, ARKRAY Inc., Kioto, Japón) y la glicemia (GlucocardGmeter, ARKRAY Inc., Kioto, Japón).

Cinco sujetos realizaron la prueba HC una semana antes de la prueba BC y 9 sujetos al revés.

También se comparó la composición de oxígeno y gas carbónico del aire respirado a 80cm de distancia de la boquilla del ergoespirómetro en las 2 situaciones de experimentación (Multipleno Gas detector: MultiRAE-IR. Rae systems Inc., San José, EE.UU.). Finalmente se comparó la composición de la diferencia del aire a 80 y 130cm de distancia de la vía respiratoria en condiciones invernales (HC).

Estudio estadístico: se determinaron las medias y desviaciones estándar de los diferentes parámetros de las dos situaciones de experimentación y se cuantificó las diferencias. En diferentes casos se procedió al análisis de regresión entre datos aparejados. Se procedió mediante el t-test, a rechazar o no la Ho (hipótesis nula) entre los datos obtenidos entre las dos situaciones contrastadas, determinándose el grado de significación de las diferencias. El tratamiento de los datos se hizo con el programa EXCEL de Microsoft.

## Resultados

El aire respirado por los voluntarios estaba modificado de manera significativa en lo que hace a su composición de gas carbónico (CO<sub>2</sub>), cuando comparamos el nivel inicial (basal) con el final de las pruebas de esfuerzo en las dos situaciones estudiadas (tablas 3 y 3b).

Los niveles iniciales de gas carbónico dentro del ambiente de la burbuja (de plástico inerte, con lavado de aire exterior, filtrado y a presión levemente positiva) y a 80cm de la vía respiratoria se mantienen aceptables de acuerdo con la zona industrial y viaria en la que se encuentra el laboratorio. No así en el ambiente del laboratorio en condiciones invernales, en la que se multiplican por 2, por término medio, los valores tanto al inicio de la prueba como en el momento culminante del esfuerzo máximo

(655±60ppmv de CO<sub>2</sub> vs 1.326±269ppmv de CO<sub>2</sub>; p≤6,0<sup>e-8</sup>) como también al final de las pruebas de esfuerzo, cuando comparamos la situación dentro y fuera de la burbuja (1.423±253ppmv de CO<sub>2</sub> vs 2.162±636ppmv de CO<sub>2</sub>; p≤0,00047).

Respecto al oxígeno ambiental, la situación que constatamos fue: tablas 4 y 4b.

Los niveles iniciales de oxígeno dentro del ambiente de la burbuja y a 80cm de la vía respiratoria permanecen aceptables de acuerdo con la zona industrial y viaria en que se encuentra el laboratorio (20,86±0,09% de O<sub>2</sub>). En el ambiente del laboratorio en condiciones invernales, los niveles iniciales de oxígeno están afectados de manera leve, pero significativa en comparación con la burbuja (20,75±0,19% de O<sub>2</sub>; p≤0,03). También los niveles de oxígeno ambiental al finalizar la prueba de esfuerzo presentan diferencias estadísticamente significativas (laboratorio: 20,47±0,15% de O<sub>2</sub> vs dentro de la burbuja: 20,78±0,18% de O<sub>2</sub>; p≤5.82<sup>e-09</sup>).

Se constató diferente composición del aire a las distancias de 80 y 130 cm de la boquilla del neumotacógrafo. En el caso del oxígeno detectamos a 80 cm: 20,52±0,04% y a 130 cm: 20,87±0,09% con una p≤1,4<sup>e-6</sup> que nos indica que las diferencias son estadísticamente significativas. En el caso del CO<sub>2</sub> detectamos a 80 cm: 2.662±186ppmv y a 130 cm: 1.206±264ppmv con una p 6,5<sup>e-6</sup> que nos indica que las diferencias son estadísticamente significativas (fig. 1).

## Resultados relativos a los parámetros ergoespirométricos

La ventilación, medida con el pneumotacógrafo, muestra que no hay diferencias entre la ventilación máxima al final de la prueba de esfuerzo en las dos situaciones comparadas. Mientras que en condiciones habituales del laboratorio los sujetos dan una media de 116,5 19,2l/min, dentro de la burbuja la media es de 117,4 18,9l/min; no significativa.

El consumo máximo de oxígeno medido con el analizador de gases respiratorios muestra que no hay diferencias entre la captación de O<sub>2</sub> al final de la prueba de esfuerzo en las dos situaciones comparadas. Así, en condiciones habituales

**Tabla 3b** Significación de las diferencias en las diferentes situaciones comparadas

T-test p<	(1) vs (3)	6,00675E-08
T-test p<	(2) vs (4)	0,000473413
T-test p<	(1) vs (2)	8,48649E-05
T-test p<	(4) vs (3)	2,07319E-07

**Tabla 3** Niveles de gas carbónico (CO<sub>2</sub>) antes y después de las pruebas en las dos situaciones estudiadas. n=13

	Fuera basal (1)	Fuera final (2)	Burbuja basal (3)	Burbuja final (4)
<b>Media</b>	1.326,00	2.162,00	655,00	1.423,57
<b>Desv. estd.</b>	258,79	636,09	60,44	253,19

Basal: en el momento de comenzar la prueba de esfuerzo.

Final: en el momento de esfuerzo máximo.

Unidades en ppmv de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 4** Niveles de oxígeno antes y después de las pruebas, en las dos situaciones estudiadas. n=13

	Fuera basal (1)	Fuera final (2)	Dentro basal (3)	Dentro final (4)
<b>Media</b>	20,75	20,47	20,86	20,78
<b>Desv. estd.</b>	0,19	0,15	0,09	0,18

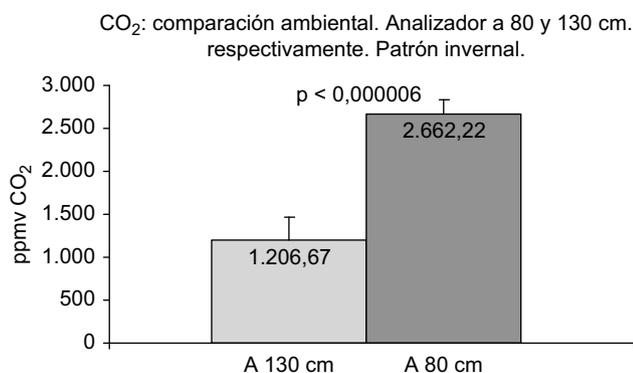
Basal: en el momento de iniciar la prueba de esfuerzo.

Final: en el momento del esfuerzo máximo.

Unidades en % de O<sub>2</sub>.

**Tabla 4b** Significación de las diferencias en las diferentes situaciones

T-test p <	(1) vs (3)	0,033007459
T-test p <	(2) vs (4)	5,82826E-05
T-test p <	(1) vs (2)	2,63265E-05
T-test p <	(4) vs (3)	0,046794771

**Figura 1** Valores al final de la prueba de esfuerzo.

del laboratorio los sujetos dan una media de  $3.342,7 \pm 521$  ml/min, y en comparación, dentro de la burbuja, la media es de  $3.427,8 \pm 664$  ml/min; sin significación estadística.

La producción de CO<sub>2</sub> medida, muestra que no hay diferencias entre la producción máxima, al final de la prueba de esfuerzo, en las dos situaciones comparadas. Así lo mostró el hecho que, en condiciones habituales del laboratorio, los sujetos produjeran una media de  $3.964 \pm 656$  de CO<sub>2</sub>, y dentro de la burbuja el valor medio fue de  $3.924 \pm 692$ ; sin significación estadística.

Tampoco se constataron diferencias de los valores a las curvas de recuperación del O<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub> al primer, segundo y tercer minuto de recuperación.

Se valoró si había diferencias a nivel del cociente respiratorio igual a 1 (QR=1,00) y no se encontraron diferencias estadísticas significativas referidas a la sollicitación en vatios de potencia durante la prueba de esfuerzo correspondiente a este nivel.

### Parámetros cardíacos

Los parámetros cardíacos no mostraron diferencia que permitiera rechazar a la hipótesis nula, ni durante el esfuerzo ni en la recuperación al finalizar el mismo.

Tampoco los relativos a la potencia mecánica alcanzada en el cicloergómetro, cuando comparamos las dos situaciones estudiadas no mostraron diferencias apreciables.

### A nivel metabólico...

...los sujetos mostraron un mayor nivel de lactato arterial capilarizado (+117%) a los 3 minutos de finalizar la prueba en situación *indoor* en comparación con la burbuja ( $7,55 \pm 1,81$  vs  $6,44 \pm 1,76$  mMol/dl;  $p < 0,016$ ;  $n = 13$ ).

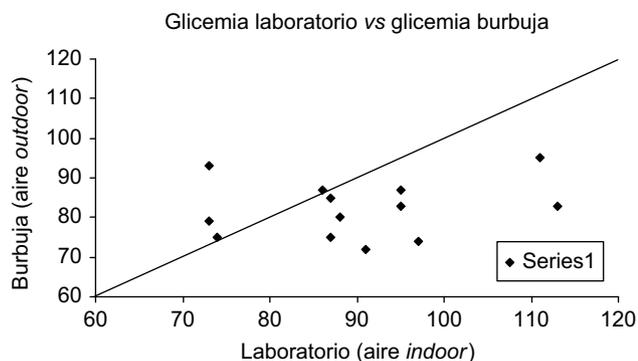
Idéntico comportamiento observamos en los niveles de glucosa en sangre capilar que mostraron un incremento del 112% en la situación habitual (*indoor*) en comparación con los de la burbuja de aire purificado y exterior (glicemia:  $90,0 \pm 12,2$  mg/dl vs  $82,15 \pm 6,94$  mg/dl;  $p > 0,054$  no significativo,  $n = 13$ ).

### Discusión de los resultados

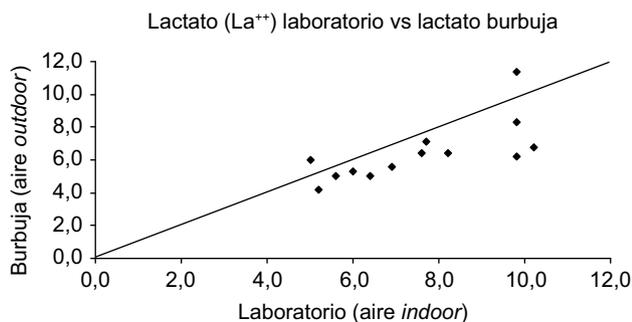
A pesar de las diferencias en la composición y contaminación del aire en las dos situaciones estudiadas, el analizador de gases, con su sistema de autocalibración informó sin diferencias destacables, los parámetros ergoespirométricos: consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2max</sub>), producción máxima de CO<sub>2</sub>, tal y como mostraron los resultados obtenidos. A pesar de los niveles de contaminación y el aire enrarecido, en las condiciones de laboratorio (*indoor*), la metabolimetría por análisis de gases espirados continuó siendo útil y fiable.

El nivel de enrarecimiento del aire confinado del laboratorio provocó un aumento inferior al 1% de la ventilación máxima (VE en l/min), sin significación estadística. Eso encajó con la falta de sintomatología detectable en sujetos sanos, sometidos al nivel de enrarecimiento del aire como el que se estudió. Este hecho contrasta con la sintomatología y sensaciones subjetivas mostradas en ambientes confinados naturales (simas y cuevas) de la misma zona geográfica<sup>13</sup> (NE Barcelona-Spam) en la que el aire está mucho más enrarecido (15–19% de oxígeno y 2.000–40.000 ppmv de CO<sub>2</sub>).

Se detectó de forma clara y estadísticamente significativa que los sujetos sometidos a exposición subaguda al aire confinado del laboratorio de fisiología tuvieron respuestas diferentes a la esperada, tomando como referencia la glicemia y los lactatos en sangre arterial capilarizada. Así, a pesar de no ser una diferencia estadísticamente significativa, el nivel de contaminación y enrarecimiento en el laboratorio ocasionó un incremento del 12% en los niveles de glicemia en sangre capilarizada al finalizar la prueba ergométrica en el ambiente (normal) que había en el



**Figura 2** Glicemia al final de la prueba de esfuerzo en las dos situaciones estudiadas.



**Figura 3** Lactato al final de la prueba de esfuerzo en las dos situaciones estudiadas.

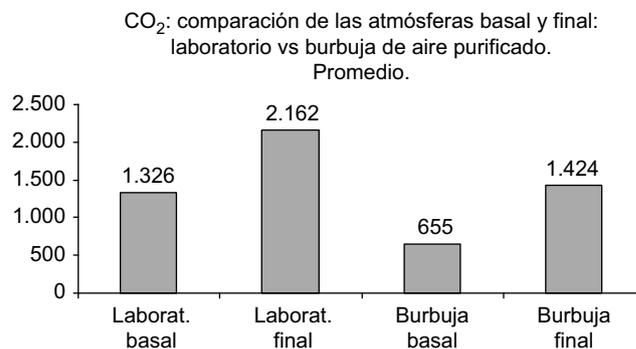
laboratorio, en contraposición a los niveles de glicemia medidos la finalización de la prueba ergométrica dentro del ambiente de aire purificado de la burbuja (fig. 2).

El nivel de ácido L-2-hidroxi-propanoico ( $\text{La}^{++}$ ) presentó un aumento del 17% en los niveles en sangre capilarizada al finalizar la prueba ergométrica en el ambiente (normal) que había en el laboratorio, si lo comparamos con el aire purificado del interior de la burbuja. Las diferencias fueron estadísticamente significativas. El nivel de  $\text{La}^{++}$  continúa considerándose un buen marcador del metabolismo anaeróbico<sup>16</sup>, lo que indica una mayor penosidad a nivel metabólico cuando los voluntarios trabajaron en condiciones *indoor* (fig. 3).

Las adaptaciones metabólicas fueron suficientes para compensar las diferencias atmosféricas comparadas y permitieron un nivel similar de prestaciones físicas expresadas en la prueba de esfuerzo y también un similar comportamiento cardíaco durante la misma.

## Evidencias en el presente estudio

Cuando estaban dentro de la burbuja (de plástico inerte, con lavado de aire exterior, filtrado y a presión positiva), el aire respirado por los voluntarios con respecto a su composición de gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) era próximo a los habituales de la zona geográfica (Barcelona, NE Spain) y por contra, presentaba niveles entre 2–3 veces superiores de los



**Figura 4**  $\text{CO}_2$ : comparación de las atmósferas basal y final: laboratorio vs burbuja de aire purificado. Promedio.

valores exteriores, cuando se trabajaba en las condiciones habituales del laboratorio.

El aire respirado por los voluntarios desde el punto de vista de su composición en oxígeno era próximo a 20,9% cuando el trabajo se realizaba dentro de la burbuja (de plástico inerte, con lavado de aire exterior filtrado y a presión positiva) y por contra presentaba niveles entre 20,4 y 20,6% cuando se trabajaba en las condiciones habituales del laboratorio (fig. 4).

Los niveles de ácido L 2-hidroxi-propanoico ( $\text{La}^{++}$ ) detectado en sangre arterial capilarizada fue significativamente más bajo cuando los voluntarios realizaron la prueba de esfuerzo dentro de la burbuja (de plástico inerte, con lavado de aire exterior, filtrado y a presión positiva).

## Conclusiones

1. La utilización de la burbuja (BurbujaO2 Zonair3D) permitió modificar positivamente las condiciones ambientales adversas que se daban en el laboratorio de fisiología del esfuerzo, generadas tanto por el cambio climático, como por la propia biomasa presente en el laboratorio.
2. El estudio posibilitó cuantificar el impacto ambiental en las dos situaciones estudiadas (fuera y dentro de la burbuja) ofreciendo datos novedosos a nivel metabólico que obligan a la reflexión a los profesionales de la medicina y biología del esfuerzo.
3. Los voluntarios humanos sometidos a las dos situaciones estudiadas fueron capaces de adaptarse y obtuvieron niveles muy parecidos en los diferentes parámetros de condición física y de grado de preparación física. A pesar de eso, se detectaron diferencias estadísticas significativas en un parámetro, el lactato arterial capilarizado, que es un buen marcador indirecto de las vías metabólicas utilizadas.
4. Las diferencias del lactato arterial capilarizado, en las dos situaciones estudiadas, indica que hubo un mayor uso de la vía anaeróbica cuando las pruebas ergométricas se realizaron en las condiciones habituales, invernales, con las ventanas cerradas.
5. La burbuja de plástico inerte, con lavado de aire exterior filtrado y a presión positiva fue un recurso útil y práctico para la realización de las pruebas ergométricas habituales en el laboratorio de fisiología del esfuerzo.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Zhang SX, Miller JJ, Stolz DB, Serpero LD, Zhao W, Gozal D, Wang Y. Type I Epithelial Cells Are the Main Target of Whole-Body Hypoxic Preconditioning in the Lung. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*. 40, p. 332–9, 2009<sup>©</sup> 2009 American Thoracic Society.
- Wenger RH. Cellular adaptation to hypoxia: O<sub>2</sub>-sensing protein hydroxylases, hypoxia-inducible transcription factors, and O<sub>2</sub>-regulated gene expression. *FASEB J*. 2002;16:1151–62. [www.medizin.uni-leipzig.de](http://www.medizin.uni-leipzig.de).
- Clark JM. Effects of acute and chronic hypercapnia on oxygen tolerance in rats. *J Appl Physiol*. 1981;50:1036–44.
- Keeling RF, Piper SC, Bollenbacher AF, Walker JS. Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the SIO air sampling network. In trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn, USA. 2009. doi: 10.3334/CDIAC/atg.035.
- Carbon Dioxide, Methane Rise Sharply in 2007. NOAA: (2008).
- Lambertsen CJ. "Carbon Dioxide Tolerance and Toxicity". Environmental Biomedical Stress Data Center, Institute for Environmental Medicine, University of Pennsylvania Medical Center (Philadelphia, PA) 1971 Pennsylvania Univ Philadelphia School of Medicine. IFEM Report No. 2-71.
- Friedman D. Toxicity of Carbon Dioxide Gas Exposure, CO<sub>2</sub> Poisoning Symptoms, Carbon Dioxide Exposure Limits, and Links to Toxic Gas Testing Procedures-InspectAPedia.
- Sánchez-Chardi A, Peñarroja-Matutano C, Borrás M, Nadal J. Bioaccumulation of metals and effects of a landfill in small mammals. Part II. The wood mouse. *Apodemus sylvaticus*. *Chemosphere*. 2007;70:101–9.
- "Carbon dioxide: IDLH Documentation". National Institute for Occupational Safety and Health. Staff [consultado 16/8/2006]. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/124389.html>. Retrieved on 2007-07-05.
- Berger WH. Teaching Assistant: Patty Anderson "Climate and CO<sub>2</sub> in the Atmosphere". Disponible en: [http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange2/07\\_1.shtml](http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange2/07_1.shtml). Retrieved on 2007-10-10.
- Sánchez-Chardi A, Peñarroja-Matutano C, Borrás M, Nadal J. Bioaccumulation of metals and effects of a landfill in small mammals. Part III. Structural Alterations *Environ Res*. 2009.
- Pope CA 3rd, Ezzati M, Dockery DW. Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States. *C N Engl J Med*. 2009;360:376–86.
- De Yzaguirre i Maura I, Escoda i Mora J, Bosch Cornet J, Gutiérrez Rincón JA, Dulanto Zabala D, Segura Cardona R. Adaptation to the rarefied air of abysses and caves. *Apunts Med Esport*. 2008;43:135–40.
- Botella de Maglía J, Garrido E. Patología de la hipòxia de la altitud. Barcelona: Edika MED; 2005 p. 37–39.
- Glatte Jr HA, Montsay GJ, Welch BE. "Carbon Dioxide tolerance studies" Nasa contract n° T-41829-G (1967). Disponible en: <http://archiverubicon-fundation.org>.
- Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2004;287:R502–16.
- Hayward JS, Lisson PA. Carbon Dioxide Tolerance of Rabbits and Its Relation to Burrow Fumigation. *Australian Wildlife Research*. 5: 253–61.
- Schaefer KE. Studies of Carbon Dioxide Toxicity. (1). Chronic CO<sub>2</sub> Toxicity in Submarine Medicine. *Med Res Lab Rep*. 1951;1:156–89.
- Lambertsen CJ, Gelfand R, Hopkins E. Carbon Dioxide-Oxygen Interactions in Extension of Tolerance to Acute Hypoxia. ...EBSDC-IFEM-University of Pennsylvania Medical Center. Report number 1-17-2001. Presented in the NASA USRA Bioastronautics Investigators 'Workshop Abstract Volume. January 17–19. Galveston, Texas: 2001. p. 196–91.
- Pérez L, Sunyer J, Künzli N. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain) *Gaceta sanitaria: Organo oficial de la Sociedad Española de Salud Pública y Administración Sanitaria*, ISSN 0213-9111, Vol. 23, N.º 4, 2009, p. 287–94.
- Künzli N, Bridevaux PO, Liu LJ, Garcia-Esteban R, Schindler C, Gerbase MW, et al. Traffic-Related Air Pollution Correlates with Adult-Onset Asthma among Never-Smokers. *Thorax*. Published Online First: 8 April 2009. doi:10.1136/thx.2008.110031.
- Drobnic Martínez F, Borderías C. Guía del asma en condiciones ambientales extremas. *Arch Bronconeumol*. 2009;45:48–56.
- West JB, Hackett P, Maret KH, Milledge JS, Peters RM, Pizzo CJ, et al. Pulmonary gas exchange on the summit of Mount Everest. *J Appl Physiol Respirat Environ Exercise Physiol*. 1983;55: 678–87.
- Crawshaw R, Moleman D. Experiments with cave atmospheres: The CO<sub>2</sub> Problem. Published in the Sydney Speleological Society. *Journal*. 1970; 14: 177–85.
- Halbert EJM. Evaluation of Carbon Dioxide and oxygen data in atmospheres using the GibbsTriangle and Cave Air Index. *Journal of Australasian Cave Research*. 1982;20:60–8 Printed in Helicite.
- Rodriguez F, Ventura JL. Intermittent hypoxia and training: Methods, strategies, and results. *Health & Height. Proceeding of the 5th World Congress on Mountain Medicine and High Altitude Physiology*. Spain: Pub Universitat de Barcelona; 2003 p. 107–13.
- Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD. Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol*. 1998;85:1448–56.
- Laboratory Safety Manual. "oxygen-deficient atmosphere" Section 24, p: 4–5 By the Occupational Health and Safety of the University of N.S.W. Australia. CCH Australia Limited. 1992.
- Strang J, Mackenzie-Wood P. A Manual on Mines Rescue, Safety & Gas Detection. CSM Press, School of Mines Colorado. p. 126–33.
- Haski R, Cardilini G, Bartolo W. Laboratory Safety Manual. "oxygen-deficient atmosphere" Section 24, p: 4–5 By the Occupational Health and Safety of the University of N.S.W. Australia. CCH Australia Limited. 1992.
- Strueden HK, Hollmann W, Donike M, Platen P, Weber K. Effect of O<sub>2</sub> availability on neuroendocrine variables at rest and during exercise: O<sub>2</sub> breathing increases plasma prolactin. *Eur J of App Phys and Ocupa Phys(Berlin)*. 1996;74:443–9.
- Carbon dioxide; 2001 ACGIH; American Conference of Industrial Hygienists. Disponible en: <http://www.logico2.com/Documents/ACGIH%20recommendations%20for%20CO2.pdf>.
- Krewski D. Evaluating the effects of ambient air pollution on life expectancy. *N Engl J Med*. 2009;360:413–5.