

## ORIGINAL

# Ergometria i canvi climàtic

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

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

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

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

Rebut el 16 de desembre de 2009; acceptat el 30 d'abril de 2010

### PARAULES CLAU

CO<sub>2</sub>;  
Diòxid de carboni;  
Hipercàpnia exògena;  
Contaminació  
atmosfèrica;  
Canvi climàtic;  
Àcid làctic;  
Lactat

### Resum

**Introducció i objectius.** En la curta història de l'ergometria moderna (50 anys aproximadament), s'han produït canvis notables en l'atmosfera que respirem, pel que fa a partícules grans, mitjanes i petites, i també respecte de la composició gasosa, amb augments del gas carbònic (CO<sub>2</sub>) entorn del 125%. Aquesta situació s'agreuja dins els edificis, que és on hi ha els laboratoris de fisiologia de l'esforç.

L'objectiu d'aquest estudi va ser comprovar com afecten, aquests canvis atmosfèrics, els humans durant l'esforç.

**Mètodes.** Es va fer un estudi comparatiu mitjançant 2 proves cicloergomètriques, emparellades, en 13 subjectes (12 homes i 1 dona). Una es va fer en la situació habitual del laboratori (*indoor*) i la rèplica va ser al mateix laboratori, dins una bombolla amb un sistema de filtratge de partícules grans, mitjanes i petites, agafant l'aire de l'exterior del laboratori (aire lliure, *outdoor*). Els paràmetres que es van controlar van ser: la potència màxima assolida en el cicloergòmetre i expressada en vats (W), els paràmetres ergoespiromètrics (VO<sub>2màx</sub>, VCO<sub>2màx</sub>, VE<sub>màx</sub>), els paràmetres cardiològics: ritme cardíac per minut i els nivells d'àcid 2-hidroxiopropanoic (La<sup>++</sup>), i la glucèmia en sang capil·lar arterialitzada.

**Resultats.** Estadísticament, els paràmetres ergoespiromètrics i cardíacs no es van modificar, com tampoc els referents a la potència assolida en el cicloergòmetre, en comparar les 2 situacions estudiades. No obstant això, els subjectes van mostrar un major nivell de lactat arterial capil·laritzat (+117%) als 3 min de finalitzar la prova en situació *indoor* (7,55±1,81 vs. 6,44±1,76 mMol/dl, p<0,016; n=13).

Es va observar un comportament idèntic en els nivells de glucosa en sang capil·lar, que van mostrar un increment del 112% en la situació habitual (*indoor*) en comparació amb els de la bombolla d'aire purificat i exterior (glucèmia: 90,0±12,2 mg/dl vs. 82,15±6,94 mg/dl; p>0,054 no significatiu, n=13).

\*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: 14521ym@comb.es (I. De Yzaguirre).

*Discussió.* Els analitzadors de gasos per a l'estudi metabòlic van ser capaços de calibrar-se en diferents atmosferes i determinar correctament les capacitats i potencials d'aquests subjectes, malgrat els canvis atmosfèrics. Les adaptacions metabòliques van ser suficients per compensar les diferències atmosfèriques comparades i van permetre un nivell semblant de prestacions físiques expressades en la prova d'esforç i també en el comportament cardíac expressat durant aquesta, atenent als nivells de contaminació en un laboratori pròxim a Barcelona (NE d'Espanya).

*Conclusions.* Els subjectes van ser capaços d'adaptar-se als canvis atmosfèrics provocats per la contaminació progressiva. No van mostrar diferències en les dues situacions plantejades en l'anàlisi metabòlica de gasos en esforç, ni tampoc va haver-hi canvis en el comportament cardíac. No es va modificar la potència màxima obtinguda al laboratori. Però metabòlicament es va pagar un preu per la contaminació atmosfèrica, com mostra la major mobilització de glucosa en la sang capil·lar i també en la major producció de lactat capil·lar en les condicions de l'estudi.

© 2009 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

#### KEYWORDS

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

#### Ergometry and climate change

##### 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±1.81 vs 6.44±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±12.2 mg/dl vs 82.15±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.

## Introducció

Malgrat l'enorme impacte periodístic sobre els temes d'ecologia i medi ambient<sup>4,6</sup>, hi ha poca recerca en relació amb l'efecte de la contaminació ambiental sobre els nivells d'oxigen (O<sub>2</sub>) i diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>)<sup>9,10,31-33</sup> i de les partícules contaminants grans, mitjanes i petites en humans<sup>1,2,6,7</sup>, per bé que sí n'hi ha en animals<sup>3,8,11</sup>. Tampoc n'hi ha en el cas de la identificació química d'aquestes, ni dels compostos volàtils<sup>12</sup>. Avui dia tenim coneixement de les modificacions en la composició de l'aire que d'una manera discreta però constant s'han evidenciat gràcies als registres sistemàtics sobre la seva composició gasosa que es duen a terme des de la cinquena dècada del segle xx a l'illa oceànica de Mauna Lloa<sup>5</sup>.

En la dècada dels anys cinquanta del segle passat, els nivells ambientals eren de 300 parts per milió de volum (ppmv) ambientals de CO<sub>2</sub> a Mauna Lloa (Hawaii), però actualment s'acosten a 400 ppmv al mateix laboratori<sup>4</sup>. També s'han establert a nivell internacional els nivells d'oxigen i diòxid de carboni acceptables laboralment<sup>15,17-19,28-30</sup>.

D'altra banda, les investigacions fundacionals de l'ergometria moderna daten de fa més de 50 anys, quan Per Olof Astrand va definir les bases i els paràmetres de les proves d'esforç amb anàlisi de gasos espirats. En les proves d'esforç amb anàlisi de gasos es calibren els analitzadors (oxigen i CO<sub>2</sub>) suposant que els paràmetres ambientals són de 20,9% d'oxigen i 0,03% de CO<sub>2</sub> (300 ppmv de CO<sub>2</sub>).

A Catalunya, l'Administració no disposa de dades ambientals referents al CO<sub>2</sub><sup>8</sup>, però segons les nostres pròpies observacions se situen a prop de 450-650 ppmv de CO<sub>2</sub> als (taula 1) ambients més favorables, a l'aire lliure. Dins els edificis són habituals xifres de 750-900 ppmv de CO<sub>2</sub> i encara més quan hi ha persones respirant-hi. El mateix s'esdevé en ambients tancats naturals<sup>13,24,25</sup> i artificials<sup>18</sup>. Ens referim a problemes mèdics diferents dels que planteja l'adaptació a l'altitud<sup>14,23</sup> i als efectes de l'entrenament<sup>26-28</sup> o el consum de tabac<sup>21,22</sup>.

Les empreses que comercialitzen analitzadors de gasos per a ergometria recomanen un únic calibratge dels aparells a l'inici de la sessió de treball. Segons les nostres observacions, després de la primera prova el nivell ambiental de CO<sub>2</sub> arriba fàcilment a 1.500-2.000 ppmv de CO<sub>2</sub>, per la qual cosa una desviació en els paràmetres de totes les proves d'esforç és una possibilitat que cal considerar. Això po-

dria tenir relació amb l'observació feta per diversos professionals als quals no encaixen els resultats amb les formulacions proposades pels pioners de l'ergometria. (Per exemple, en el valor del quocient respiratori.)

Darrerament s'ha publicat l'impacte de la contaminació per metalls en petits mamífers a l'àrea de Barcelona (amb increments de Pb, Cd, Mg, Zn, Cu i Cr) i també un augment dels efectes genotòxics en els mateixos animals<sup>8,11</sup>.

Publicacions recents avaluen la influència de les partícules PM 2,5 (partícules petites) sobre l'augment de la longevitat de les persones que viuen en tres ciutats on ha minvat la contaminació<sup>12</sup>. I també a la zona de Barcelona (NE d'Espanya) s'ha avaluat que hi ha un impacte negatiu, calculat en 14 mesos sobre l'esperança de vida, a causa de l'exposició a les partícules contaminants en suspensió atmosfèrica<sup>20</sup>.

En aquest estudi avaluem l'impacte en les proves ergomètriques a l'aire lliure de partícules i amb nivells d'oxigen i de CO<sub>2</sub> ambientals exteriors en comparació amb l'atmosfera disponible en l'ambient tancat del laboratori de fisiologia de l'esforç.

## Definicions

Hipercàpnia exògena: hipercàpnia generada per excés de CO<sub>2</sub> aportat des de l'exterior de l'organisme.

## Mètodes i material

Es va seleccionar un grup de 15 voluntaris, estudiants de formació professional en Educació Física, 13 dels quals van aconseguir completar les proves.

Tots els voluntaris van signar el consentiment informat. L'estudi va ser sotmès a l'aprovació del Comitè d'Ètica d'Investigacions Clíniques de l'Administració Esportiva de Catalunya. Es va fer una revisió mèdica prèvia, per avaluar l'aptitud per a l'exercici.

Es va descartar que els subjectes estiguessin afectats per malalties cròniques, cardíaques o pulmonars o que poguessin afectar el rendiment físic. I es van distribuir en dos grups segons l'ordre de realització de les proves.

El perfil fisiològic dels subjectes es mostra a la taula 2.

Per dur a terme les proves ergomètriques de tipus màxim es va utilitzar l'ergocicle marca Ergoselec200 de l'empresa Ergoline GmbH & Co. KG. La recollida d'observacions es va fer sotmetent els voluntaris a dues proves d'esforç, idèntiques, l'una al laboratori en condicions hivernals (HC) (finestres tancades i porta disponible a la lliure circulació de qui

**Taula 1** Valors de CO<sub>2</sub> registrats a l'aire lliure, exterior del laboratori, on es va fer l'estudi

Analitzador exterior	
Dia	CO <sub>2</sub> ppmv
24/04/2009	486
28/04/2009	750
29/04/2009	690
27/04/2009	640
<b>Mitjana</b>	<b>641,5</b>
Desviació estàndard	113

**Taula 2** Perfil fisiològic dels subjectes sotmesos a estudi

	Edat	Pes	Talla	IMC	Sexe
<b>Mitjana</b>	<b>21,69</b>	<b>73,13</b>	<b>174,58</b>	<b>23,98</b>	<b>1 dona+12 homes</b>
Desviació estàndard	5,06	10,43	7	2,92	

entrava i sortia del laboratori) i l'altra prova dins una bombolla (BC) amb sistema de filtratge de partícules i amb pressió lleument positiva (+92-93,5 hPa) que garanteix, juntament amb el disseny de la bombolla, el rentatge permanent de l'aire de dins amb aire ambiental exterior (BurbujaO2 de l'empresa Trilanz S.L., Barcelona). Durant les proves ergomètriques es va fer una anàlisi metabòlica dels gasos respirats (analitzador MS-CPX/SBx/CPx. Jaeger. Cardinal Healt Germany). Es va monitorar permanentment la freqüència i el traçat cardíac de 12 derivacions (MS Medcard. Sorinnes, Bèlgica) durant la prova ergomètica i la recuperació. Als 3 min de finalitzar la prova es va recollir una mostra de sang arterial capil·laritzada per determinar el nivell d'àcid L 2-hidroxiopropanoic (La<sup>++</sup>) (Lactate Pro ARKRAY, Inc. Kyoto, Japó) i la glucèmia (GlucocardGmeter. ARKRAY, Inc. Kyoto, Japó).

Van ser 5 els subjectes que van fer la prova HC una setmana abans de la prova BC i 9 subjectes a l'inrevés.

També es va comparar la composició d'oxigen i gas carbònic de l'aire respirat a 80 cm de distància de l'embocadura de l'ergoespiròmetre en les 2 situacions d'experimentació (Multipleno Gas detector: MultiRAE-IR. RAE systems Inc. Sant José, EUA). Finalment es va comparar la composició de la diferència de l'aire a 80 i 130 cm de distància de la via respiratòria en condicions hivernals (HC).

Estudi estadístic: es van determinar les mitjanes i desviacions estàndard dels diversos paràmetres de les dues situacions d'experimentació i se'n van quantificar les diferències. En diferents casos es va analitzar la regressió entre dades emparellades. Mitjançant el t-test, es va rebutjar o no l'H0 (hipòtesi nul·la) entre les dades obtingudes entre les 2 situacions contrastades, tot determinant el grau de significació de les diferències. El tractament de les dades es va fer amb el programa Excel de Microsoft.

## Resultats

L'aire respirat pels voluntaris estava modificat d'una manera significativa pel que fa a la seva composició de gas carbònic (CO<sub>2</sub>), en comparar el nivell inicial (basal) amb el final de les proves d'esforç en les dues situacions estudiades (taules 3 i 3b).

Els nivells inicials de gas carbònic dins l'ambient de la bombolla (de plàstic inert, amb rentatge d'aire exterior, filtratge i amb pressió lleument positiva) i a 80 cm de la via respiratòria, es mantenen acceptables d'acord amb la zona industrial i viària on està situat el laboratori. Però no és així en l'ambient del laboratori en condicions hivernals, en què

es multipliquen per 2, generalment, els valors tant a l'inici de la prova com en el moment culminant de l'esforç màxim (655±60 ppmv de CO<sub>2</sub> vs. 1.326±269 ppmv de CO<sub>2</sub>; p≤6,0<sup>e-8</sup>). I també al final de les proves d'esforç, en comparar la situació dins i fora de la bombolla (1.423±253 ppmv de CO<sub>2</sub> vs. 2.162±636 ppmv de CO<sub>2</sub>; p≤0,00047).

Respecte de l'oxigen ambiental, la situació que vam constatar va ser la que s'exposa a les taules 4 i 4b.

Els nivells inicials d'oxigen dins l'ambient de la bombolla i a 80 cm de la via respiratòria, es mantenen acceptables d'acord amb la zona industrial i viària on està el laboratori (20,86±0,09% d'O<sub>2</sub>). En l'ambient del laboratori en condicions hivernals, els nivells inicials d'oxigen estan afectats lleument, però significativament en comparació amb la bombolla (20,75±0,19% d'O<sub>2</sub>; p≤0,03). També els nivells d'oxigen ambiental en finalitzar la prova d'esforç presenten diferències estadísticament significatives (laboratori: 20,47±0,15% d'O<sub>2</sub> vs. dins la bombolla: 20,78±0,18% d'O<sub>2</sub>; p≤5,82<sup>e-05</sup>).

Es va constatar una composició diferent de l'aire a les distàncies de 80 i 130 cm de l'embocadura del pneumotacògraf. En el cas de l'oxigen, vam detectar que a 80 cm: 20,52±0,04% i a 130 cm: 20,87±0,09% amb una p≤1,4<sup>e-6</sup>, la qual cosa ens indica que les diferències són estadísticament significatives. En el cas del CO<sub>2</sub> vam detectar a 80 cm: 2.662±186 ppmv i a 130 cm: 1.206±264 ppmv amb una p 6,5<sup>e-6</sup>, tot indicant que les diferències són estadísticament significatives (fig. 1).

## Resultats referents als paràmetres ergoespiromètrics

La ventilació, mesurada amb el pneumotacògraf, mostra que no hi ha diferències entre la ventilació màxima al final de la prova d'esforç en les dues situacions comparades. Mentre que en condicions habituals del laboratori els subjectes donen una mitjana de 116,5±19,2 l/min, dins la bombolla la mitjana és de 117,4±18,9 l/min; sense significació estadística.

**Taula 3b** Significació de les diferències en les diverses situacions comparades

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

**Taula 3** Nivells de gas carbònic (CO<sub>2</sub>) abans i després de les proves en les dues situacions estudiades (n=13)

	Exterior basal (1)	Exterior final (2)	Bombolla basal (3)	Bombolla final (4)
Mitjana	1.326,00	2.162,00	655,00	1.423,57
Desviació estàndard	258,79	636,09	60,44	253,19

Basal: en el moment de començar la prova d'esforç.

Final: en el moment d'esforç màxim.

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

**Taula 4** Nivells d'oxigen abans i després de les proves, en les dues situacions estudiades (n=13)

	Exterior basal (1)	Exterior final (2)	Interior basal (3)	Interior final (4)
Mitjana	20,75	20,47	20,86	20,78
Desviació estàndard	0,19	0,15	0,09	0,18

Basal: En el moment d'iniciar la prova d'esforç.

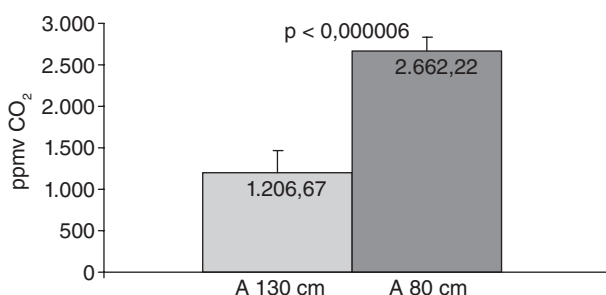
Final: En el moment de l'esforç màxim.

Unitats en percentatge d'O<sub>2</sub>.

**Taula 4b** Significació de les diferències en les diverses situacions

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

CO<sub>2</sub>: comparació ambiental. Analitzador a 80 y 130 cm respectivament. Patró hivernal.

**Figura 1** Valors al final de la prova d'esforç.

El consum màxim d'oxigen mesurat amb l'analitzador de gasos respiratoris mostra que no hi ha diferències entre la captació d'O<sub>2</sub> al final de la prova d'esforç en les dues situacions comparades. Així, en condicions habituals del laboratori, els subjectes donen una mitjana de 3.342,7±521 ml/min, i comparant-ho dins la bombolla, la mitjana és de 3.427,8±664 ml/min; sense significació estadística.

La producció de CO<sub>2</sub> mesurada mostra que no hi ha diferències entre la producció màxima al final de la prova d'esforç en les dues situacions comparades. Així ho va mostrar el fet que, en condicions habituals del laboratori, els subjectes produïen una mitjana de 3.964±656 de CO<sub>2</sub>, i dins la bombolla el valor mitjà era de 3.924±692; sense significació estadística.

Tampoc no es van constatar diferències dels valors en les corbes de recuperació de l'O<sub>2</sub> i del CO<sub>2</sub> al primer, segon i tercer minuts de recuperació.

Es va valorar si hi havia diferències a nivell del quocient respiratori igual a 1 (QR=1,00) i no es van trobar diferències estadístiques significatives referides a la demanda en vats de potència durant la prova d'esforç corresponent a aquest nivell.

## Paràmetres cardíacs

Els paràmetres cardíacs no van mostrar cap diferència que permetés rebutjar la hipòtesi nul·la, ni durant l'esforç ni en la recuperació en finalitzar-se aquest.

Tampoc els referents a la potència mecànica aconseguida al cicloergòmetre, quan vam comparar les dues situacions estudiades, no van mostrar diferències apreciables.

## A nivell metabòlic...

els subjectes van mostrar un major nivell de lactat arterial capil·laritzat (+117%) als 3 min de finalitzar la prova en situació *indoor* en comparació amb la bombolla. (7,55±1,81 vs. 6,44±1,76 mMol/dl, p<0,016; n=13).

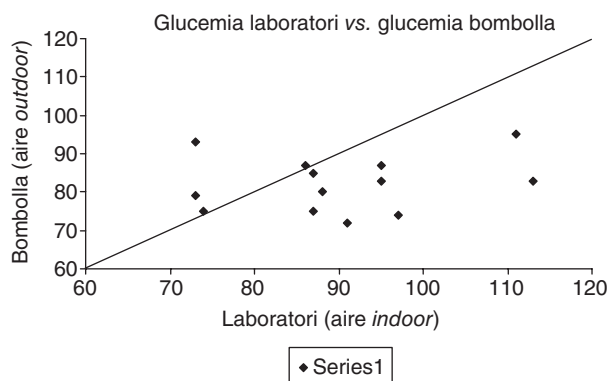
Un comportament idèntic vam observar en els nivells de glucosa en sang capil·lar, que van mostrar un increment del 112% en la situació habitual (*indoor*) en comparació amb els de la bombolla d'aire purificat i exterior (glucèmia: 90,0±12,2 mg/dl vs. 82,15±6,94 mg/dl; p>0,054 no significatiu, n=13).

## Discussió

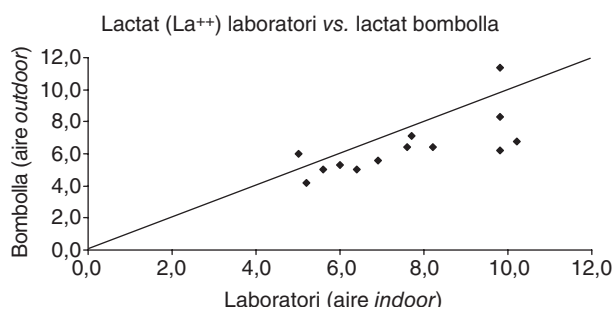
Malgrat les diferències en la composició i contaminació de l'aire en les 2 situacions estudiades, l'analitzador de gasos, amb el seu sistema d'autocalibratge, va donar informació, sense diferències destacables, dels paràmetres ergoespiromètrics: consum màxim d'oxigen (VO<sub>2max</sub>), producció màxima de CO<sub>2</sub>, tal com van mostrar els resultats obtinguts. Malgrat els nivells de contaminació i l'aire enrarit, en les condicions de laboratori (*indoor*) la metabolimetria per anàlisi de gasos espirats va continuar sent útil i fiable.

El nivell d'enrarament de l'aire tancat del laboratori va provocar un augment inferior a l'1% de la ventilació màxima (VE en l/min), sense significació estadística. Això va encaixar amb la manca de simptomatologia detectable en subjectes sans, sotmesos al nivell d'enrarament de l'aire com el que es va estudiar. Aquest fet contrasta amb la simptomatologia i les sensacions subjectives mostrades en ambients tancats naturals (avencs i coves) de la mateixa zona geogràfica<sup>13</sup> (Barcelona, NE d'Espanya) on l'aire està molt més enrarit (15-19% d'oxigen i 2.000-40.000 ppmv de CO<sub>2</sub>).

Es va detectar d'una manera clara i estadísticament significativa que els subjectes sotmesos a exposició subaguda a l'aire tancat del laboratori de fisiologia van tenir respostes diferents a l'esperada, prenent com a referència la glucèmia i els lactats en sang arterial capil·laritzada. Així,



**Figura 2** Glucèmia al final de la prova d'esforç en les dues situacions estudiades.



**Figura 3** Lactat al final de la prova d'esforç en les dues situacions estudiades.

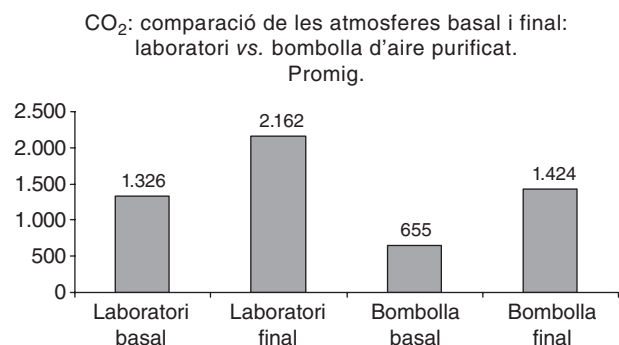
malgrat no ser una diferència estadísticament significativa, el nivell de contaminació i enrariment al laboratori va comportar un increment del 12% en els nivells de glucèmia en sang capil·laritzada en finalitzar la prova ergomètrica en l'ambient (normal) que hi havia al laboratori, en contraposició amb els nivells de glucèmia mesurats a la finalització de la prova ergomètrica dins l'ambient d'aire purificat de la bombolla (fig. 2).

El nivell d'àcid L 2-hidroxiopropanoic (La<sup>++</sup>) va presentar un augment del 17% en els nivells en sang capil·laritzada en finalitzar la prova ergomètrica en l'ambient (normal) existent al laboratori, si es compara amb l'aire purificat de l'interior de la bombolla. Les diferències van ser estadísticament significatives. El nivell de La<sup>++</sup> continua considerant-se un bon marcador del metabolisme anaeròbic<sup>16</sup>, la qual cosa indica una major penositat a nivell metabòlic quan els voluntaris van treballar en condicions *indoor* (fig. 3).

Les adaptacions metabòliques van ser suficients per compensar les diferències atmosfèriques comparades i van permetre un nivell semblant de prestacions físiques expressades en la prova d'esforç i també un comportament cardíac semblant durant aquesta.

### Evidències d'aquest estudi

Quan eren dins la bombolla (de plàstic inert, amb rentatge d'aire exterior, filtratge i amb pressió positiva), l'aire respirat pels voluntaris respecte de la seva composició de gas



**Figura 4** CO<sub>2</sub>: comparació de les atmosferes basal i final: laboratori vs. bombolla d'aire purificat. Mitjana.

carbònic (CO<sub>2</sub>) era pròxim als habituals de la zona geogràfica (Barcelona, NE d'Espanya) i, en canvi, presentava nivells entre 2-3 vegades superiors dels valors exteriors quan es treballava en les condicions habituals del laboratori.

L'aire respirat pels voluntaris, des del punt de vista de la seva composició en oxigen, era pròxim al 20,9% quan el treball es feia dins la bombolla (de plàstic inert, amb rentatge d'aire exterior filtratge i amb pressió positiva) i, en canvi, presentava nivells entre 20,4-20,6% quan es treballava en les condicions habituals del laboratori (fig. 4).

Els nivells d'àcid L 2-hidroxiopropanoic (La<sup>++</sup>) detectat en sang arterial capil·laritzada van ser significadament més baixos quan els voluntaris van fer la prova d'esforç dins la bombolla (de plàstic inert, amb rentatge d'aire exterior, filtrat i amb pressió positiva).

### Conclusions

1. La utilització de la bombolla (BurbujaO2 Zonair3D) va permetre modificar positivament les condicions ambientals adverses que es donaven al laboratori de fisiologia de l'esforç, generades tant pel canvi climàtic, com per la mateixa biomassa present al laboratori.
2. L'estudi va possibilitar quantificar l'impacte ambiental en les dues situacions estudiades (fora i dins la bombolla), tot oferint dades innovadores a nivell metabòlic que obliguen a la reflexió dels professionals de la medicina i biologia de l'esforç.
3. Els voluntaris humans sotmesos a les 2 situacions estudiades van ser capaços d'adaptar-s'hi i van obtenir nivells molt semblants en els diversos paràmetres de condició física i de grau de preparació física. Malgrat això, es van detectar diferències estadístiques significatives en un paràmetre, el lactat arterial capil·laritzat, que és un bon marcador indirecte de les vies metabòliques utilitzades.
4. Les diferències del lactat arterial capil·laritzat, en les 2 situacions estudiades, indica que va haver-hi un major ús de la via anaeròbica quan les proves ergomètriques es van dur a terme en les condicions habituals, hivernals, amb les finestres tancades.
5. La bombolla de plàstic inert, amb rentatge d'aire exterior, filtratge i amb pressió positiva va ser un recurs útil i pràctic per fer les proves ergomètriques habituals al laboratori de fisiologia de l'esforç.

## Conflicte d'interessos

Els autors declaren no tenir cap conflicte d'interessos.

## Bibliografia

- 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 & 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. wen@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.
- "Carbondioxide: 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. *CN Eng 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 Maglia J, Garrido E. Patología de la hipoxia de la altitud. Barcelona: EdikaMED; 2005 p.37-39.
- Glatte Jr HA, Montsay GJ, Welch BE. "Carbon Dioxide tolerance studies" NASA contract n1 T-41829-G(1967). Disponible en: <http://archiverubicon-foundation.org>.
- Berugs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2004;287:R50216. 17. 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. EBS-DC-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.1 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 Gibbs Triangle and Cave Air Index. *Journal of Australasian Cave Research*. 1982;20:60-8 Printed in Helictite.
- Rodríguez F, Ventura J L. Intermittent hypoxia and training: Methods, strategies, and results. *Health & Height*. Proceeding of the 5<sup>th</sup> 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 Appl Phys and Occup Phys (Berlin)*. 1996;74:443-9.
- Carbon dioxide; 2001 ACGIH; American Conference of Industrial Hygienists. Disponible en: <http://www.logic2.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.