

# Exploración biológica de campo del corredor de sprint bajo el efecto del entrenamiento en altitud moderada

Denis C.\*, Padilla S.\*\*, Dormois D.\*, Lacour J.R.\*

\*Laboratoire de Physiologie, Service de Biologie et Médecine du Sport. Université de Saint-Etienne.

\*\*Instituto Vasco de Educación Física (IVEF) e Instituto Municipal del Deporte de Vitoria

## RESUM

Vuit atletes (quatre homes i quatre dones), especialitzats en els 400 metres llisos de categoria regional, han pres part en aquest estudi. Els atletes varen fer 300 m. a velocitat màxima en tres condicions diferents: control INSEP 1, a 1.800 m. d'altitud, i per l'INSEP 2.

Els estudis biològics en sang arterial ( $\text{CO}_3\text{H}$ ,  $\text{PCO}_2\text{PH}$ ) i en múscul (PH i lactat) van donar uns resultats que mostraven una millora de la velocitat de cursa, entre l'INSEP 1 i l'INSEP 2, d'un segon (0.2 m. -1, p 0.01). Aquesta estabilitat de la glucolisi anaeròbica associada a un millorament del treball realitzat (rècord) pot donar peu a la hipòtesi que l'actitud junt amb l'entrenament en aquestes condicions, pot millorar el metabolisme del fosfagen.

No obstant i això, el nostre estudi no va quantificar l'ATP muscular ni la PC i per tant no ens és possible establir una connexió causa-efecte.

## RESUMEN

Ocho atletas (cuatro hombres y cuatro mujeres), especializados en 400 m. lisos, de categoría regional, han tomado parte en este estudio. Los atletas realizaron 300 m. al máximo de velocidad en tres condiciones diferentes: control INSEP 1, a 1.850 m. de altitud y por el INSEP 2.

Los estudios biológicos en sangre arterial ( $\text{CO}_3\text{H}$ ,  $\text{PCO}_2\text{PH}$ ) y en músculo (PH y lactato) fueron obtenidos. Los resultados mostraron una mejora de la velocidad de carrera, entre el INSEP 1 y el INSEP 2, de un segundo (0.2 ms -1, p 0.01). Esta estabilidad de la glucolisis anaeróbica asociada a una mejora del trabajo realizado (rècord) puede encabezar la hipótesis de que la altitud asociada al entrenamiento (en estas condiciones) puede mejorar el metabolismo del fosfágeno.

No obstante, nuestro estudio no cuantificó el ATP muscular ni la PC, así, no nos es posible establecer una conexión causa-efecto.

## ABSTRACT

Eight (8) athletes (four men and four women), specialized in 400 m. races, local level, have taken part in this study. The athletes have carried out two 300 m. exercises at top speed, in three different conditions: control INSEP 1; 1.850 m. altitude; INSEP 2.

Biological studies in arterialized blood ( $\text{CO}_3\text{H}$ ,  $\text{PCO}_2$ , PH) and in muscle (PH, lactate) have been carried out. The results show an improvement of the running speed, between INSEP 1 and INSEP 2, of one second (0.2 ms -1, p 0,01). This stability of the anaerobic glycolysis associated to an improvement of the performance (record), may lead to the hypothesis that the altitude associated to the training (in this condition) can improve the phosphagene metabolism.

Nevertheless, our study has dosed neither the muscular ATP nor the PC, so it is not possible to set up a cause-effect connection.

## Introducción

La carrera de sprint representa un ejercicio máximo de corta duración que desencadena alteraciones muy importantes en el pH y concentraciones de ácido láctico a nivel muscular y sanguíneo (COSTILL y col. 1983, HERMANSEN y col. 1984).

Los corredores de sprint son capaces de alcanzar concentraciones de ácido láctico a nivel sanguíneo, superiores a los corredores de "enduran-

ce" cuando realizan pruebas de 1 min. de duración, en cinta rodante. (MEDBO y SEJERSTED 1985).

Según el trabajo de CERRETELLI (1980), la estancia en altitud se acompaña de una disminución de la concentración de ácido láctico sanguíneo después de un ejercicio máximo para una misma carga ácida (Disminución de la capacidad tampón del organismo). Esta hipótesis está modulada por los resultados de LINNARSSON y col. (1974) que observaron como la concentración de lactato muscular después de un ejercicio máximo de potencia idéntica, es similar en hipoxia (0,68 ATA) y normoxia (1 ATA), alcanzando 26 m. mol. Kg<sup>-1</sup> w.w. de media. Sin embargo YOUNG y col. (1984) observaron que después de 15 días de aclimatación a 4.300 m. y bajo la influencia de ejercicios intensos, el pH muscular disminuía menos en altitud que a nivel del mar, fenómeno asociado a una concentración de lactato sanguíneo inferior en altitud.

base en sangre arterializada así como biopsias musculares para el estudio de pH y lactato muscular.

## Métodos

### Sujetos

Tomaron parte en este estudio 8 atletas (4 hombres y 4 mujeres) que participaban regularmente en competiciones de 400 m. de nivel nacional. La edad, peso y talla fue de (Media y desviación Standard) 22 ± 2 años, 59 ± 2 Kg., 173 ± 5 cm. para las mujeres y 25 ± 4 años, 72 ± 4 kg., 183 ± 4 cm. para los hombres. La media de los mejores tiempos realizados en 400 m. era de 54 ± 2 segundos para las mujeres y de 50 ± 2 segundos para los hombres. Todos los atletas fueron debidamente informados de los posibles riesgos asociados a las técnicas aplicadas en este estudio.

### Programa de entrenamiento

Una vez realizado el 1<sup>er</sup> control en París (INSEP 1), los atletas realizaron una concentración de 12 días en Font-Romeu (1.850 m.).

El programa de entrenamiento consistió en un nivel de acondicionamiento general y adaptación, fase que duró los 6 primeros días seguidos de 5 días de entrenamiento intenso de sprint (fracciones de 60 y 500 m.) asociados a ejercicios de carrera continua de intensidad moderada y de musculación dinámica.

El último día de estancia en altitud se realizó el 2<sup>o</sup> control (Font-Romeu).

El descenso a París y durante los 12 días subsiguientes, el programa de entrenamiento fue moderado hasta el día del 3<sup>er</sup> control (INSEP 2).

### Ejercicio-test

Se realizaron 2 carreras de sprint de 300 m. a velocidad máxima, separados por 30 min. de recuperación.

La primera carrera fue precedida de un calentamiento habitual en estos atletas. Durante el periodo de calentamiento, se instaló un catéter en una vena del antebrazo del atleta y se procedió a la apertura de una ventana a nivel del vasto externo que permitiría la realización de la biopsia muscular después de la 2<sup>a</sup> carrera.

### Estudio de los parámetros biológicos

El antebrazo del atleta permaneció inmerso en un baño de agua a 42°C con el objeto de arterializar la sangre venosa y poder realizar el estudio ácido-base (FOSTER y col. 1972).

Se extrajeron 5 ml. de sangre 5 min. antes y después de cada salida de 300 m. así como a los

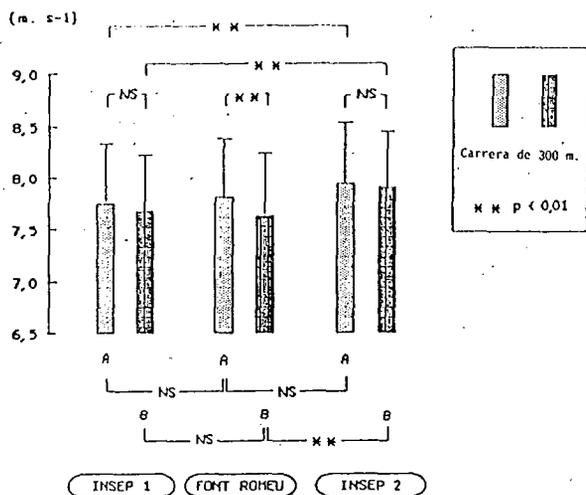
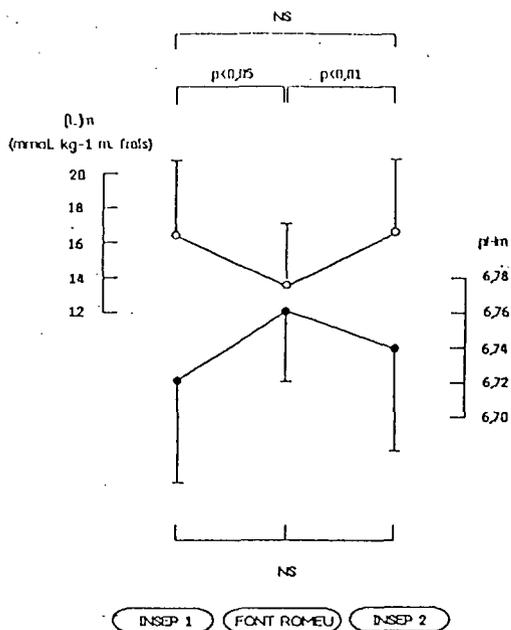


Figura 1. Velocidad media de carrera para el 1<sup>o</sup> y 2<sup>o</sup> sprint (de 300 m.) a nivel del mar (INSEP 1 y 2) y a 1.850 m. (FONT-ROMEU).

Nuestro estudio se inició con el objetivo de evidenciar variaciones en la acumulación de lactato muscular y sanguíneo, así como en el equilibrio ácido-base, después de ejercicios de sprint realizados bajo la influencia de 12 días de aclimatación y entrenamiento en altitud moderada (1.850 m.), en relación a una prueba idéntica realizada antes, durante y después del entrenamiento en altitud.

Los atletas se sometieron a 2 ejercicios de 300 m. realizados a velocidad máxima, con 30 min. de recuperación entre ellos, en tres situaciones diferentes: una prueba control (INSEP 1) a nivel del mar, una segunda prueba el último día de la estancia y entrenamiento en altitud (FONT-ROMEU) y una tercera prueba 12 días después del descenso, a nivel del mar (INSEP 2). Se realizaron diversas extracciones sanguíneas para el estudio ácido-



**Figura 2.** Concentración de lactato muscular [L]m y pH del homogeneizado muscular, al finalizar la 2ª carrera de 300 m. a nivel del mar (INSEP 1 y 2) y a 1.850 m. de altitud (FONT-ROMEU).

10, 15, 20 y 30 minutos después de la segunda carrera. El análisis de las muestras de sangre se realizó sobre la pista, siendo estudiados la  $PO_2$ ,  $PCO_2$ , pH (BMS 3, pH M73 MK2 Radiometer Copenhagen), la saturación de  $O_2$  ( $SO_2$ ) (OSM2 Radiometer Copenhagen), lactato sanguíneo (b [Lact]) (LA 640 Roche Kontron) y hematocrito (Ht) (Microhematocrit centrifuge Jouan 316). A partir de los valores medidos anteriormente, calculamos con la ayuda del normograma de Siggaard-Andersen (1963), la concentración de bicarbonatos así como el déficit de bases. Con el objeto de evaluar únicamente el efecto de la acidosis metabólica, transformamos los valores de pH, déficit de bases y bicarbonato a condiciones standar ( $SO_2 = 100\%$ ,  $PCO_2 = 40$  mmHg) utilizando el normograma de Siggaard-Andersen (1963). En este cálculo no hemos tomado en consideración la concentración de hemoglobina.

Del parámetro pH standar hemos obtenido la concentración de hidrogeniones (std  $H^+$ ).

Las muestras musculares se obtuvieron lo más rápidamente posible al finalizar la segunda carrera. Empleamos un Trocar de Bergstrom por vía subcutánea con una congelación inmediata de la muestra en nitrógeno líquido. La dosificación del lactato muscular (m [Lact]) se realizó utilizando la técnica descrita por DENIS y col. (1985). El pH del homogeneizado muscular fue determinado según la técnica descrita por COSTILL y col. (1982) tratando el polvo muscular en una dilución 1:10 con KCl 145 mM; NaCl 10 mM; ácido iodoacético IAA 5mM, ajustando la solución a pH 7, 0. La medición del pH

se realizó a 37°C en microelectrodo G.A. 229 conectado a un PHM 73 Radiometer.

## Registros

La velocidad de carrera fue registrada en doble por cronometradores provistos de cronómetros electrónicos manuales (1/100 seg.).

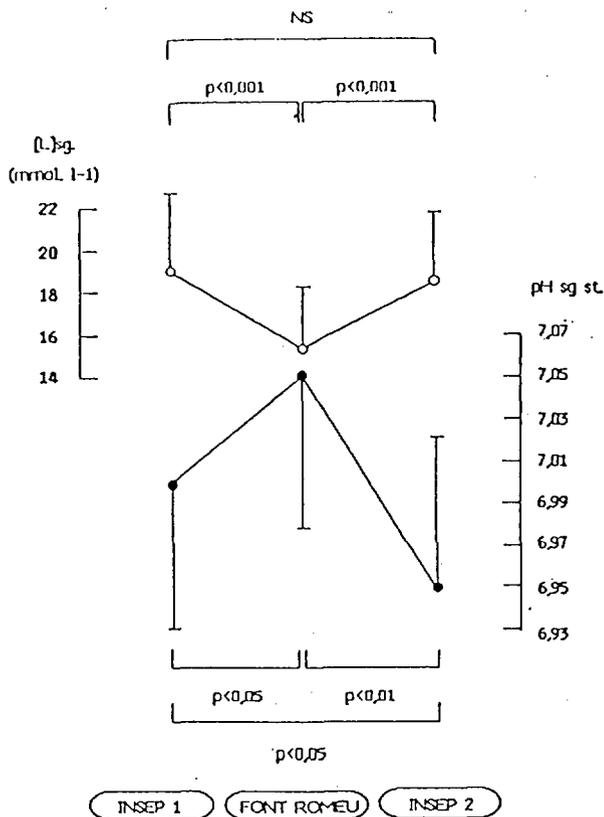
## Métodos estadísticos

Se calculó las medias y la desviación standar. La comparación entre los valores medios se realizó por el test T de student para pares de datos. La comparación de más de 2 medias se realizó por el análisis de varianza (ANOVA).

## Resultados

### Condiciones ambientales

Mientras que las pruebas realizadas en el INSEP ( $PB = 750$  mmHg) se desarrollaron con una temperatura entre 20-25°C en pista cubierta, las pruebas realizadas en Font-Romeu ( $PB = 610$  mmHg) tuvieron una temperatura entre 7-10°C, al aire libre. El viento fue desfavorable en los 2/3 iniciales de la distancia, de velocidad débil a moderada.



**Figura 3.** Concentración máxima de lactato y pH mínimo en sangre durante la recuperación, después de la segunda carrera de 300 m. a nivel del mar (INSEP 1 y 2) y a 1.850 m. de altitud (FONT-ROMEU).

## Registros

La figura nº 1 muestra que la marca de altitud en la 1ª carrera no es diferente de las realizadas en el INSEP (1ª y 2ª vez). Sin embargo, la diferencia entre INSEP 1 e INSEP 2 es significativa ( $P < 0,01$ ), con una mejora en la velocidad máxima de carrera de  $0,2 \text{ m}\cdot\text{S}^{-1}$ . Entre la 1ª y 2ª carrera en altitud se observó una disminución significativa de la velocidad ( $P < 0,01$ ), fenómeno no determinado ni en INSEP 1, ni en INSEP 2. La segunda carrera del INSEP 2 se desarrolló a una velocidad significativamente superior a la 2ª carrera de Font-Romeu y del INSEP 1 ( $P < 0,01$ ).

## Lactato y pH muscular

Después de la 2ª carrera en altitud, el lactato muscular ( $\text{m [L]}$ ) ( $13,6 \pm 3,5 \text{ mmol}\cdot\text{Kg}^{-1} \text{ w.w.}$ ) es significativamente inferior a los obtenidos en el INSEP 1 y 2 ( $16,3 \pm 4,3$  y  $16,7 \pm 4,1 \text{ mmol}\cdot\text{Kg}^{-1} \text{ w.w.}$ ) (Figura 2). Los resultados del pH del homogeneizado muscular no presentan diferencias significativas ( $6,72 \pm 0,08$ ;  $6,77 \pm 0,06$ ;  $6,74 \pm 0,06$ ).

Si hacemos la hipótesis de que el factor principal de la disminución del pH muscular durante la carrera, es el ácido láctico (SAHLIN y HENRICKSON 1984) y estimamos que el ácido láctico y pH muscular de reposo son invariables en función de la altitud ( $1,5 \text{ mmol}\cdot\text{Kg}^{-1} \text{ w.w.}$  y  $7,00$ ), la relación  $\Delta [\text{L}]/\Delta \text{pHm}$  es de  $49 \pm 10 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ pH}^{-1}$  en Font-Romeu, de  $52 \pm 10$  y  $59 \pm 9 \text{ mmol}\cdot\text{Kg}^{-1} \text{ pH}^{-1}$  en INSEP 1 y 2 respectivamente. Estos valores, que pueden ser tomados como una estimación de la capacidad tampón del músculo, no muestran una disminución significativa consecuente a una exposición a la altitud.

## Lactato y pH sanguíneo

La figura nº 3 muestra los resultados obtenidos para las variaciones máximas de ácido láctico ( $[\text{L}] \text{ sg}$ ) y pH sanguíneo ( $\text{pH sg}$ ) después de la 2ª carrera. Los valores obtenidos en Font-Romeu son significativamente inferiores para  $[\text{L}] \text{ sg}$  ( $P < 0,001$ ) y más elevados para el  $\text{pH sg}$  ( $P < 0,05$ ) en relación con los valores obtenidos en INSEP 1 y 2. Si expresamos los valores de  $[\text{L}] \text{ sg}$  y  $\text{pH sg}$  en variaciones con respecto a los valores de reposo ( $\Delta [\text{L}] \text{ sg}$  y  $\Delta \text{pH sg}$ ), la evolución global presentada en el gráfico nº 4 y 5 muestran que estos valores se sitúan por debajo de los valores obtenidos en INSEP 1 y 2 ( $P < 0,001$  para ambos parámetros).

Aplicando el mismo cálculo que el empleado para el músculo, la relación  $\Delta [\text{L}] \text{ sg}/\Delta \text{pH sg}$  para las variaciones máximas, reflejan resultados similares ( $41, 39$  y  $38 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1} \text{ pH}^{-1}$  para INSEP 1, Font-Romeu e INSEP 2).

Los valores basales de  $\text{pH std. [CO}_3\text{H]}$  st no se alteran entre el INSEP 1 e INSEP 2 a excepción del déficit de bases, que pasa de  $-1,0 \pm 2,4$  a

$1,7 \pm 3,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  ( $P < 0,05$ ). La  $\text{PO}_2$  aumenta de  $7,9 \pm 1,0$  a  $8,9 \pm 1 \text{ KPa}$  ( $P < 0,05$ ), la saturación de  $\text{O}_2$  disminuye de  $95 \pm 2$  a  $91 \pm 4\%$  ( $P < 0,01$ ) y el hematocrito aumenta de  $41,4 \pm 3,4$  a  $43,3 \pm 1,8\%$  ( $P < 0,05$ ) permaneciendo inalterada la  $\text{PCO}_2$ .

La evolución de los parámetros sanguíneos en este protocolo se muestran en el cuadro nº 1.

## Discusión

### Modificaciones metabólicas

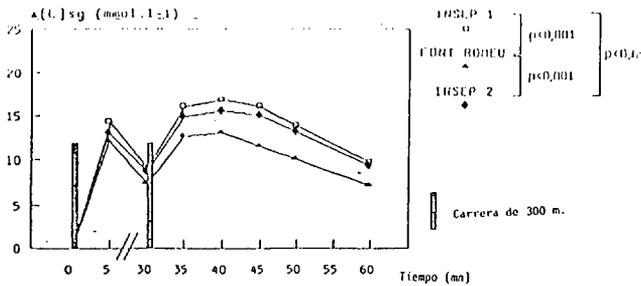
Este estudio nos ha permitido medir concentraciones musculares y sanguíneas de lactato, significativamente inferiores en altitud moderada que a nivel del mar, consecutivos a carreras de sprint a velocidad máxima. Esta observación ha sido completada por una variación  $\Delta [\text{H}^+]$  sg menor en las carreras de altitud. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por CERRETELLI (1980) concernientes al lactato en la sangre. La variación más pequeña de pH muscular hallada por YOUNG y col. (1984) no ha sido significativa a la disminución de la capacidad tampón muscular calculada, en la exposición a la altitud, concuerda con la hipótesis de CERRETELLI (1980). En contraposición, debemos mencionar el estudio de BRO-RASMUSSEN y col. (1985) que realizaron en esquiadores de fondo entrenados, observando un aumento de la capacidad tampón muscular evaluada por filtración del homogeneizado muscular y una mejora de la marca, al descenso a nivel del mar, consiguiendo a una exposición de 2 semanas a  $2.800 \text{ m}$ .

Los valores de lactato muscular obtenidos por COSTILL y col. (1983) después de una carrera de  $400 \text{ m}$ . a velocidad máxima en el músculo sóleo ( $19,4 \text{ mmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) son superiores a los nuestros ( $16,3 \pm 4,3$ ;  $13,6 \pm 3,5$ ;  $16,7 \pm 4,1$ ), siendo ambos grupos de atletas de un nivel similar ( $50 \text{ seg.}$  en  $400 \text{ m.}$ ). Esta diferencia de valores puede estar justificada por los siguientes hechos:

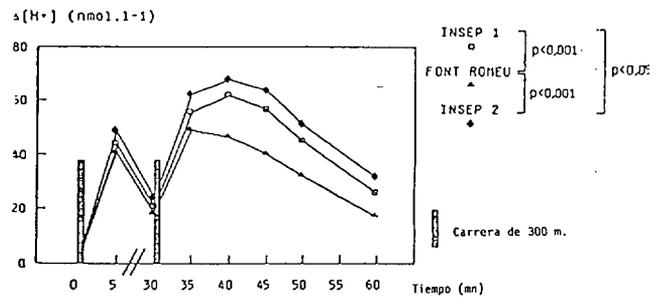
1. La elección del músculo (Sóleo-V.Externo)
2. La duración y distancia de la carrera ( $400 \text{ m}$ - $300 \text{ m.}$ )
3. La manipulación técnica de la muestra, ya que el tiempo entre el final de la carrera y la biopsia en nuestro caso osciló entre  $90$ - $120 \text{ seg.}$  en altitud y  $60$ - $90 \text{ seg.}$  en el INSEP.

Con respecto al 1º punto, debemos añadir que COSTILL y col. (1983) no han encontrado diferencias significativas entre las concentraciones de lactato en estos 2 músculos, después de carreras de sprint en cinta rodante.

La repercusión del período de realización de la biopsia muscular no es decisiva en tiempos comprendidos entre  $1$  y  $1,5$  minutos, no justificando este factor los valores inferiores de pH muscular de Font-Romeu con respecto al INSEP 1 y 2. COSTILL



**Figura 4.** Evolución de la concentración de lactato sanguíneo [L] sg en relación al valor inicial, bajo la influencia de las 2 carreras de 300 m. Resultados del análisis de varianza por el método de contrastes de SCHEFFE.



**Figura 5.** Evolución de la concentración de H<sup>+</sup> standard sanguíneo ( [H<sup>+</sup>] ) en las mismas condiciones que arriba.

y col. (1983) empleó 30 segundos entre la interrupción del ejercicio y la realización de la biopsia. La evolución del [La] sg puede constituir además un argumento a favor de la objetividad biológica de los resultados. Los 30-60 segundos excesivos que en nuestro periodo de obtención de la muestra se utilizaron, pueden suponer una subestimación de 0,3-0,7 mmol. Kg<sup>-1</sup> w.w. si hacemos referencia a la disminución lineal de lactato después de un ejercicio supramaximal (HERMANSEN y VAAGE 1977). La disminución de [La]m en Font-Romeu con respecto al INSEP 1 y 2 es 4-8 veces superior.

### Entrenamiento en altitud

La velocidad media de carrera mejoró significativamente en 0,2 m.s<sup>-1</sup>, sin que se hayan asociado

variaciones en el lactato muscular entre el INSEP 1 e INSEP 2.

Con respecto a las modificaciones observadas antes y después de la exposición a la altitud debemos decir que:

1. En condiciones basales, fueron superiores los valores de PO<sub>2</sub> e inferiores los valores de saturación de O<sub>2</sub> (INSEP 1 – INSEP 2). Este resultado concuerda con el efecto que la exposición a la altitud tienen sobre la afinidad de la hemoglobina con un aumento de la P<sub>50</sub> (LENFANT y col. 1972).
2. El valor ligeramente superior de la acidosis en condiciones basales en el INSEP 2 (déficit de bases superior y bicarbonato std. ligeramente inferior) puede estar relacionado con una varia-

		BASAL	1R 5	1R 30	2R 5	2R 10	2R 15	2R 20	2R 30
PCO <sub>2</sub> kPa	B	7.9 ± 1.0	9.6 ± 1.6	8.6 ± 1.4	9.4 ± 2.4	10.0 ± 2.0	10.6 ± 2.2	10.3 ± 2.3	9.47 ± 1.75
	A	* 8.9 ± 1.3	9.5 ± 1.9	9.6 ± 1.1	11.4 ± 1.4	11.1 ± 1.3	11.3 ± 1.3	10.5 ± 1.4	9.46 ± 1.75
SO <sub>2</sub> %	B	95 ± 2	91 ± 4	93 ± 5	87 ± 10	90 ± 6	92 ± 6	94 ± 5	94 ± 4
	A	** 91 ± 4	81 ± 8	89 ± 4	86 ± 6	86 ± 4	88 ± 2	87 ± 8	86 ± 10
PCO <sub>2</sub> kPa	B	5.0 ± 0.6	4.3 ± 0.5	3.9 ± 0.6	3.9 ± 0.8	3.6 ± 0.7	3.5 ± 0.8	3.6 ± 0.7	3.99 ± 0.82
	A	4.8 ± 0.5	4.4 ± 0.7	3.7 ± 0.6	3.7 ± 0.6	3.4 ± 0.4	3.22 ± 0.5	3.4 ± 0.4	3.74 ± 0.54
std.pH	B	7.41 ± 0.04	7.08 ± 0.04	7.23 ± 0.07	7.03 ± 0.08	7.00 ± 0.08	7.03 ± 0.09	7.08 ± 0.09	7.2 ± 0.10
	A	7.38 ± 0.05	7.04 ± 0.04	7.18 ± 0.06	6.99 ± 0.06	6.96 ± 0.08	6.98 ± 0.08	7.04 ± 0.08	7.14 ± 0.08
std. [H <sup>+</sup> ] mol.l <sup>-1</sup>	B	39 ± 3	83 ± 7	60 ± 10	95 ± 18	101 ± 19	95 ± 20	84 ± 18	65 ± 15
	A	42 ± 5	91 ± 8	66 ± 10	105 ± 15	110 ± 20	106 ± 19	93 ± 16	74 ± 13
std. [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] mol.l <sup>-1</sup>	B	25.3 ± 2.0	11.5 ± 1.0	16.4 ± 2.5	10.2 ± 1.7	9.7 ± 1.8	10.3 ± 2.1	11.8 ± 2.4	15.3 ± 3.4
	A	23.4 ± 2.5	10.5 ± 1.0	14.6 ± 1.9	8.8 ± 1.1	8.7 ± 1.6	9.2 ± 1.9	10.5 ± 2.0	13.3 ± 2.6
std.BD mol.l <sup>-1</sup>	B	-1 ± 2.4	17.9 ± 2.7	10.7 ± 3.6	20.8 ± 3.2	21.9 ± 3.6	20.6 ± 3.9	18.2 ± 4.1	12.5 ± 5.4
	A	* -1.7 ± 3.0	20.3 ± 2.0	13.2 ± 2.8	23.5 ± 2.2	24.0 ± 3.1	22.8 ± 3.7	20.4 ± 3.6	15.5 ± 4.1
b. [Lact] mol.l <sup>-1</sup>	B	1.9 ± 0.6	16.3 ± 2.6	11.0 ± 2.6	17.9 ± 2.8	18.6 ± 3.3	17.9 ± 4.0	15.8 ± 3.4	11.6 ± 4.1
	A	2.9 ± 1.7	15.8 ± 1.3	11.5 ± 1.7	17.8 ± 2.6	18.4 ± 3.2	17.9 ± 3.0	16.1 ± 2.8	12.1 ± 2.7
Ht %	B	41.4 ± 3.4	45.2 ± 2.7	42.7 ± 2.8	44.3 ± 2.9	44.2 ± 2.9	43.5 ± 2.6	43.9 ± 3.1	42.1 ± 2.2
	A	* 43.3 ± 1.8	47.2 ± 1.7	44.9 ± 2.3	47.1 ± 2.2	47.1 ± 2.6	46.8 ± 2.1	46.6 ± 1.7	46.0 ± 1.6

**Cuadro 1.** Resultados (media y desviación standar) de los parámetros sanguíneos en condiciones basales y durante la recuperación de la primera y segunda carrera, para el INSEP 1 (B) e INSEP 2 (A). \*(P 0,05) \*\*\*(P 0,01): diferencias significativas entre A y B en condiciones basales.

ción en la intensidad del calentamiento previo a la prueba o en un descenso de la capacidad tampón de la sangre como repercusión de la estancia en altitud (CERRETELLI 1980).

Las variaciones de  $\Delta [H^+]$  estudiadas globalmente (ANOVA) son superiores en el INSEP 2 con respecto al INSEP 1 ( $5,5 \pm 1 \text{ mmol. l}^{-1}$ ). Esta variación puede ser debida o estar relacionada con una disminución de la capacidad tampón de la sangre (postulada en condiciones basales). Por otra parte puede relacionarse con una mayor salida de protones desde el músculo, en la prueba INSEP 2.

ONSES y HERMANSEN (1972) demostraron que los  $H^+$  eran transportados desde el músculo al compartimento vascular durante la recuperación para ejercicios supramaximales y SAHLIN y col. (1978) sugirieron que esta observación pudiera estar relacionada con la síntesis de fosfocreatina que se da durante los primeros minutos de la recuperación. Asumiendo que los depósitos de fosfocreatina (PC) pueden aumentar con el entrenamiento en altitud (GALE y NAGLE 1971), la energía suplementaria necesaria para mejorar la marca en el INSEP 2 surgió del aumento de la parte relativa de fosfocreatina, permaneciendo fija la parte correspondiente a la glucólisis. Debemos decir que en este estudio no hemos podido dosificar la fosfocreatina.

Los valores similares de pH del músculo antes y después del entrenamiento en altitud (INSEP 1 y 2) pueden ser explicados por el tiempo de realización de la biopsia, lo suficientemente largo como para

que pudiera darse una salida masiva de protones liberados por la síntesis de fosfocreatina.

Por último debemos comentar las posibles influencias de las condiciones en las que se desarrollaron las pruebas sobre los resultados. La temperatura ambiente fue muy baja ( $7-10^\circ\text{C}$ ) en Font-Romeu con respecto a las otras pruebas. La influencia de la temperatura sobre el metabolismo energético y la fatiga muscular no está aclarada. BERGH y EKBLOM (1979) han puesto en evidencia una relación inversa entre las marcas de saltos y sprint y la temperatura muscular (variaciones entre  $30-39^\circ\text{C}$ ). BLOMSTAND y col. (1984) han demostrado que la disminución de la marca en un músculo enfriado podía relacionarse con un aumento en la velocidad de acumulación de ácido láctico en dicho músculo. Por el contrario SEGAL y col. (1986) han observado que la disminución de la temperatura muscular, podría constituir un factor favorecedor de la resistencia a la fatiga en ratas (temperatura óptima  $25-30^\circ\text{C}$ ). Ninguna de las anteriores observaciones pueden aclarar o poner luz en nuestros resultados ya que la temperatura muscular no ha sido tomada en este estudio, pero nos orienta para lo sucesivo, la importancia que las condiciones ambientales en las que una prueba se desarrolla, puede tener sobre las variaciones biológicas.

En este estudio, se muestra además las limitaciones que los estudios sobre parámetros musculares pueden tener en el terreno.

## Bibliografía

---

BERGH, U.; EKBLOM B.: (1979), Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles *Acta Physiol. Scand.* 107: 33-37.  
BLOMSTRAND, E.; BERGH, U.; ESSÉN-GUSTAVSSON, B.; EKBLOM, B.: (1984), Influence of low muscle temperature on muscle metabolism during intense dynamic exercise *Acta Physiol. Scand.* 120: 229-236.  
BRO-RASMUSSEN, T.; MIZUNO, M.; MYGIND, E.; JUEL, C.; LORTIE, G.: (1985), Increased short term performance and buffer capacity in well trained cross-country skiers after training at altitude *Clin. Physiol.* suppl. 4: A139.  
CERRETELLI, P.: (1980), Gas exchange at high altitude *In West Jb eds Pulmonary Gas Exchange*, vol. II Academic Press New York, pp. 97-147.  
COSTILL, DL.; SHARP, R.L.; FINK, W.J.; KATZ, A.: (1982), Determination of human muscle pH in needle-biopsy specimens *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ Physiol.* 53, 1310-1313.

COSTILL, DL.; BARNETT, A.; SHARP, R.L.; FINK, W.J.; KATZ, A.: (1983), Leg muscle pH following sprint running *Med. Sci. Sports Exerc.* 15: 325-329.  
DENIS, C.; DORMOIS, D.; LACOUR, J.R.: Utilization of the LA 640 analyzer for a simple method of muscle lactate concentration measurement (1985) *J. Physiol. (Paris)* 80: 168-172.  
FORSTER, HV.; DEMPSEY, J.A.; THOMSON, J.; VIDRUK, E.; DOPICO, G.A.: (1972), Estimation of arterial  $PO_2$ ,  $PCO_2$ , pH, and lactate from arterialized venous blood. *J. Appl. Physiol.* 32: 134-137.  
GALE, J.B.; NAGLE, F.J.: (1971), Changes in ATP and creatine phosphate storage in skeletal muscle of rats trained at 900 and 7600 feet *Nature (London)* 232: 342-343.  
HERMANSEN, L.; VAAGE, O.: (1977), Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise *Am. J. Physiol.* 233: E422-E429.  
HERMANSEN, L.; ORNELM, A.: Sejersted OM (1984), Me-

- tabolic acidosis and changes in water and electrolyte balance in relation to fatigue during maximal exercise of short duration *Int. J. Sports Med.* 5: 110-115.
- HULTMAN, E. SAHLIN, K.: (1981), Acid-base balance during exercise in *Exercise and Sport Science Reviews*, Hutton DS and Miller DI (eds), vol. 8, pp. 41-128.
- LINNARSSON, D.; KARLSSON, J.; FAGRAEUS, L.; SALTIN, B.: (1974), Muscle metabolites and oxygen deficit in hypoxia and hyperoxia *J. Appl. Physiol.* 36: 399-402.
- LENFANT, C.; TORRANCE, J.D.; REYNAFARJE, C.: (1971), Shift of the O<sub>2</sub>-Hb dissociation curve altitude: mechanism and effect *J. Appl. Physiol.* 30: 625-631.
- MEOBØ, J.I.; SEJERSTED OM (1985), Acid-base and electrolyte balance after exhausting exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects *Acta Physiol. Scand.* 125: 97-109.
- OSNES, J.B.; HERMANSEN, L.: (1972), Acid-base balance after maximal exercise of short duration *J. Appl. Physiol.* 32: 59-63.
- SAHLIN, K.; ALVESTRAND, A.; BRANDT, R.; HULTMAN, E.: (1978), Acid-base balance in blood during exhaustive bicycle exercise and the following recovery period *Acta Physiol. Scand.* 104: 370-372.
- SAHLIN, K.; HENRICKSSON, J.: (1984), Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men *Acta Physiol. Scand.* 122: 331-339.
- SEGAL, S.S.; FAULKNER, J.A.; WHITE, T.P.: (1986), Skeletal muscle fatigue in vitro is temperature dependent *J. Appl. Physiol.* 61: 660-665.
- SIGGAARD-ANDERSEN, O.: (1963), Blood acid-base alignment nomogram. Scales for pH, PCO<sub>2</sub>, base excess of whole blood of different hemoglobin concentrations, plasma bicarbonate, and plasma total-CO<sub>2</sub> *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 15: 211-217.
- YOUNG, A.J.; EVANS, W.J.; FISHER, E.C.; SHARP, R.L.; COSTILL, D.L.; MAHER, J.T.: (1984), Skeletal muscle metabolism of sea-level natives following short-term high-altitude residence *Eur. J. Appl. Physiol.* 52: 463-466.

