



A
N
U
A
R
I
O

1970

INSTITUTO BOLIVIANO

DE

BIOLOGIA DE ALTURA

LA PAZ - BOLIVIA

RENDIMIENTO DEL EJERCICIO MUSCULAR EN LA ALTURA

J. DURAND, J. P. MARTINEAUD, J. de LATTRE, C. PANNIER, con la
colaboración técnica de N. AUSBERTY y J. M. VERPILLAT.

LABORATORIO DE FISIOLOGIA DE LA FACULTAD DE MEDICINA
DE PARIS E INSTITUTO BOLIVIANO DE BIOLOGIA DE ALTURA

El estudio cuantitativo del ejercicio muscular en la altura no ha sido efectuado de manera completa y los más recientes trabajos han sido realizados por H. HURTADO en los Andes Peruanos. Este autor ha comparado los rendimientos en los individuos que han nacido y que viven a más de 4.000 mts. y los individuos que han nacido y que viven al nivel de mar.

La meta de nuestro trabajo ha sido, el estudio del rendimiento y del costo de reembolso de la deuda de oxígeno, por una parte a baja altitud y por otra parte a gran altitud en los individuos no aclimatados.

La evaluación del rendimiento energético del ejercicio muscular necesita la medida simultánea del trabajo mecánico producido y del oxígeno que consume el individuo. El conocimiento del costo del reembolso supone además, la medida del oxígeno consumido durante la duración del ejercicio y de la recuperación que le sigue.

Han sido estudiados simultáneamente:

- la frecuencia cardíaca,
- el débito ventilatorio expiratorio,
- el consumo de oxígeno,
- la producción de gas carbónico,

primero en reposo, luego en estado estacionario del ejercicio muscular y finalmente en la fase de recuperación.

Estos diferentes parámetros han sido determinados en cuatro individuos:

- por una parte en su medio ambiente habitual a baja altitud, es decir en normoxia,
- y por otra parte, en los mismos individuos que han vivido un mes en hipoxia de altitud en el Altiplano Andino Boliviano (3.650 m.).
No se trata pues, ni de individuos que viven habitualmente en la altura, ni siquiera de individuos que desde largo tiempo atrás habitan en la altura.

TECNICAS Y METODOS DE MEDIDA:

El individuo sentado y conservado el tronco inmóvil, efectúa un ejercicio de los miembros superiores levantando a 50 cm. un peso conocido colocado delante de él, a la frecuencia de un movimiento cada 4 segundos. El individuo, no efectúa más que movimiento de levantar, habiendo bajado el peso al nivel inferior con una ayuda después de cada uno de los movimientos de levantamiento que se hacen durante los 5 minutos que dura el ejercicio.

Se hace variar la potencia del ejercicio muscular utilizando pesos diferentes (2, 4, 6 y 10 kgs.). Se ha obtenido de esta manera potencias de 0,25 Kgm/s., 0,50 Kgm/s., 0,75 Kgm/s., 1 Kgm/s. y 1,5 Kgm/s.

Se han realizado 10 experiencias para cada potencia del ejercicio muscular.

El estado estacionario del ejercicio muscular se verifica por la constancia después de dos o tres minutos como término medio de la frecuencia cardíaca y de la ventilación. El establecimiento a estado de reposo está controlado de la misma manera por el retorno de su valor al valor de reposo. Esto permite el paro del experimento 10 a 15 minutos después del paro del ejercicio muscular.

La ventilación está registrada con la ayuda de un aparato de Tissot en el cual se recogen los gases expirados; se determina así, el consumo de oxígeno y la producción de gas carbónico, y por consecuencia el cociente respiratorio.

El electrocardiograma se registra simultáneamente.

Podemos representar (Fig. 1) sobre un esquema, la evolución del consumo de oxígeno en función del tiempo durante todo el período del experimento.

Al comenzar el ejercicio muscular (tiempo 0), existe un descalce entre las necesidades reales en oxígeno y el consumo medido, esto constituye la deuda de oxígeno.

Al término del ejercicio muscular (tiempo 5), el consumo de oxígeno no vuelve inmediatamente a valor de reposo, es el reembolso de la deuda de oxígeno. El consumo del oxígeno está determinado para la duración total del experimento (tiempo 0 a 20 = ejercicio + recuperación).

Si se sustrae la cantidad de oxígeno equivalente al consumo de reposo durante el mismo tiempo, se conoce la cantidad de oxígeno consumida durante el ejercicio y representada por la superficie ACEDA de la fig. 1.

Se compara esta cantidad al consumo teórico calculado partiendo de las medidas realizadas al estado estacionario del ejercicio muscular (producto de la diferencia entre el consumo de oxígeno medido y el consumo de oxígeno en reposo, por la duración del ejercicio) y representado por el rectángulo ABCD.

La referencia entre las dos cantidades, cuando la superficie ABCD es más pequeña que la superficie ACERA no muestra el costo del reembolso de la deuda de oxígeno.

Este rendimiento energético se obtiene haciendo la relación entre el trabajo mecánico suministrado por el individuo y el consumo de oxígeno en el momento del estado estacionario del ejercicio muscular:

Resultados y Comentarios.

Los resultados están esquematizados en el cuadro recapitulativo y en los diagramas 2, 4, y 6.

Frecuencia cardíaca:

En la altura los valores de reposo son netamente superiores a los valores que se notan al nivel del mar (nivel del mar 75 pulsaciones por minuto; altura 89 pulsaciones por minuto). Contrariamente, estos valores se aproximan y no son significativamente diferentes al estado estacionario del ejer-

cicio muscular (Fig. 3), realizándose la vuelta a la frecuencia cardíaca basal más rápido en la altura que al nivel del mar.

Parámetro respiratorio:

Los datos respiratorios confirman cierto número de hechos ya conocidos y permiten calcular el rendimiento energético y el costo del reembolso de la deuda de oxígeno.

El débito ventilatorio en reposo es netamente más elevado en la altura que al nivel del mar (10,389 l/min. en altura y 6,467 l/min. al nivel del mar). La hiperventilación se acentúa con la intensidad del ejercicio; es debida no solamente a la elevación de la frecuencia respiratoria que puede estar sujeta a la frecuencia de ejercicio muscular que llevan a cabo algunos individuos (15 por minuto), pero sobre todo al crecimiento importante del volumen corriente.

Consumo de oxígeno:

Hay casi igualdad de consumo de oxígeno en reposo en alta y baja altura (247 ml/min. en altura y 217 ml/min. al nivel del mar); hay que tener en cuenta una diferencia de temperatura ambiente en ambos casos que modifica el consumo de oxígeno por el gasto de termoregulación que lleva consigo.

La hiperventilación en reposo (aumento del débito de 60% a 3.650 mts. de altitud) juega sin lugar a dudas un papel en los individuos que no están aún aclimatados.

Con el ejercicio los valores del consumo de oxígeno que se notan en la altura son superiores en cada serie a los valores observados en normoxia a baja altitud, pero no son significativamente diferentes; la producción de gas carbónico cambia en las mismas proporciones.

El cociente respiratorio:

Permanece siempre en los límites de los valores fisiológicos (entre 0,7 y 1) y tiende a la unidad cuando la potencia del ejercicio muscular crece.

El rendimiento mecánico del ejercicio muscular (Fig. 4) aumenta siguiendo una recta de regresión lineal con la intensidad del ejercicio en el rango de valores estudiados. La pendiente de la recta parece ser un poco mayor en la altura. De todas maneras los valores del rendimiento energético en

altura permanecen siempre y de manera significativa inferiores a aquellas del rendimiento energético al nivel del mar.

El valor intrínseco energético es pequeño (entre 3 y 6%) ha sido en efecto asimilada a la energía potencial dada a la carga, y no a la energía real, que además de la energía potencial hace intervenir el brazo de la palanca, representado por el largo del brazo del individuo.

El costo de la deuda de oxígeno aumenta con el ejercicio y se eleva más rápidamente que el consumo de oxígeno. Estas medidas permiten constatar que el costo la deuda es más elevado en los individuos no aclimatados a grandes alturas que al nivel del mar (respectivamente 931 ml. ml. y 672 ml. para un trabajo de 375 Kgm/s.).

La figura 4 representa estos valores diferentes, determinados en un mismo individuo respectivamente a alta y baja altura para diferentes niveles de potencias suministradas.

Conclusiones:

Estas experiencias tienen el interés de mostrar que, a pesar de la pequeña diferencia de los valores instantáneos del consumo de oxígeno tanto en reposo, como durante el ejercicio, el costo del reembolso de la deuda de oxígeno es más elevado a gran altura que a baja altura, en los individuos recientemente trasplantados. En ellos pues los fenómenos de fase de recuperación deben ser diferentes de los que están al nivel del mar.

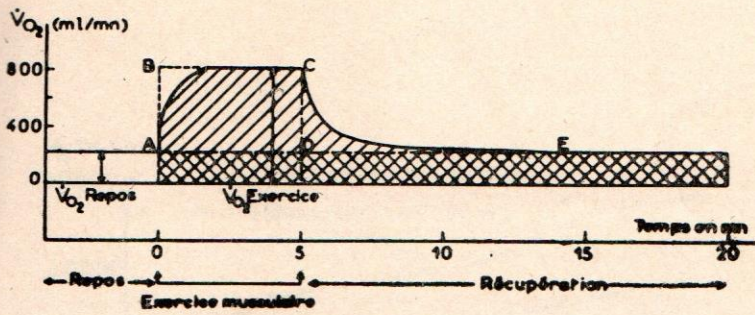
Estos datos contrastan con los que recogió Hurtado en los individuos sedentarios que radicaban permanentemente a grandes alturas y que muestran un rendimiento energético superior al de los individuos residentes al nivel del mar, habiendo sido todos estos individuos observados en su medio ambiente natural.

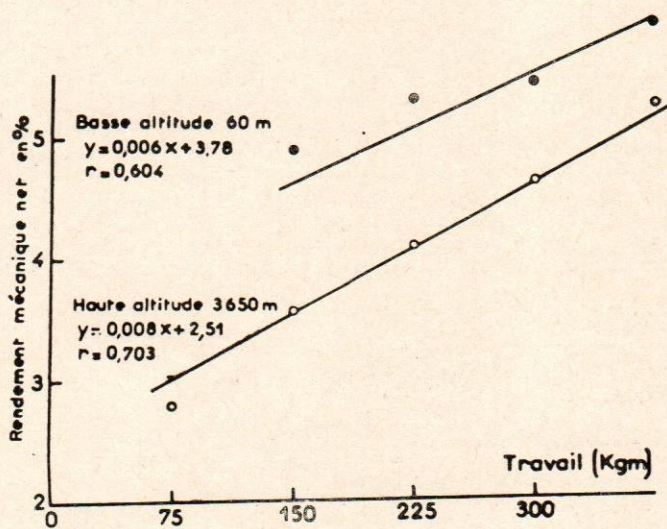
Al contrario, hemos estudiado individuos, en el curso de su segundo mes de estadía en la altura, es decir después de la fase inicial de hipoxia aguda, pero mucho antes de la instalación lenta de la aclimatación crónica.

Esta es la primera parte de un trabajo más general que comprende el estudio de individuos aclimatados a grandes alturas, de individuos aclimatados y no aclimatados respirando en una atmósfera gaseosa simulando el nivel del mar, y de individuos respirando a baja altura en una atmósfera gaseosa hipóxica simulando la de la altura.

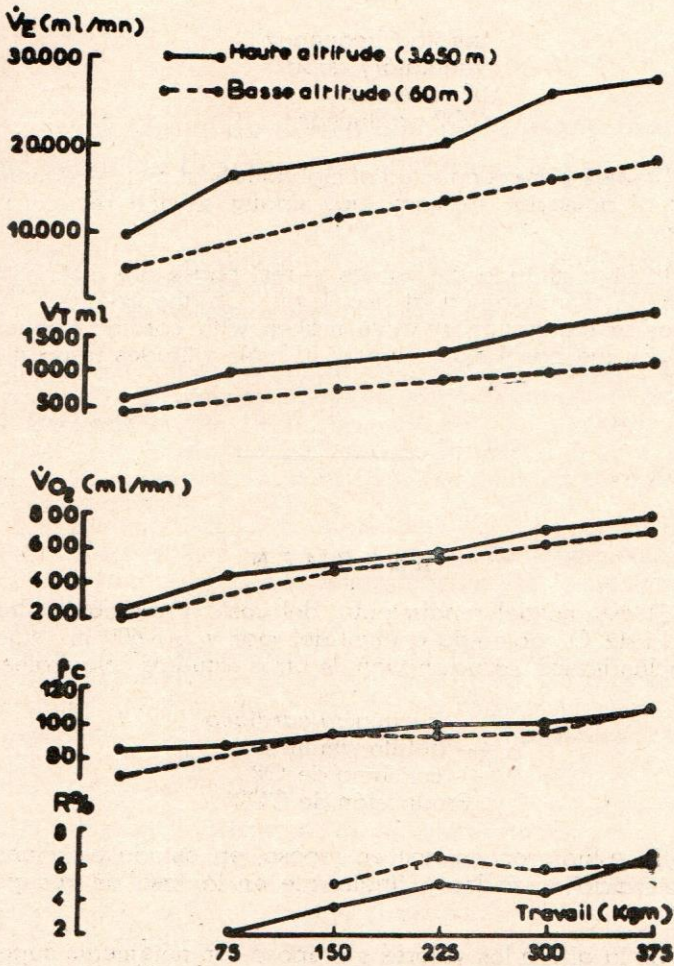
		F _C	\dot{V} EML/MN	F	\dot{V} TML	\dot{V} O ₂ ML MN	\dot{V} CO ₂ ML MN	QR	Rendi- miento %	Reembolso de la deuda O ₂ ML
ALTA ALTITUD (3650m)	Reposo	89	10,389	16	628	247	202	0,82	—	—
	EJERCICIO 75 ^{kgm}	89	16,573	18	905	434	356	0,82	2,82	233
	EJERCICIO 150	104	20,048	19	1092	526	466	0,88	3,62	611
	EJERCICIO 225	107	23,764	20	1219	613	559	0,96	4,36	678
	EJERCICIO 300	121	29,215	21	1413	751	686	0,91	4,70	820
	EJERCICIO 375	120	31,343	20	1602	805	735	0,91	5,35	931
BAJA ALTITUD (600m)	Reposo	75	6,467	14	453	217	161	0,74	—	—
	EJERCICIO 75 ^{kgm}	93	12,908	18	748	473	390	0,82	4,95	223
	EJERCICIO 150	102	14,710	21	922	595	520	0,87	5,37	260
	EJERCICIO 300	108	19,192	18	945	655	590	0,90	5,36	610
	EJERCICIO 375	121	22,680	21	1079	768	710	0,92	5,65	672

	NUMERO DE SUJETOS	NUMERO DE TESTS	REFEREN- CIA \dot{V}		DESPUES \dot{V} O ₂	A \dot{V}		
			1mm ⁻¹	1mm ⁻¹		1mm ⁻¹	P100	
3660 ^m P _O 480 MM Hg P _I O ₂ 92 MM Hg	NATIVOS	13	157	7,91	5,20	6,78	1,13	14,3
RES. 3 sem		2	26	7,22	3,70	5,20	2,02	28,0
4725 ^m P _O 421 MM Hg P _I O ₂ 78 MM Hg	NATIVOS	8	96	10,01	6,55	8,37	1,64	16,4
RES. 3j. + 3 se a 3660		2	26	9,90	5,10	6,56	3,34	33,5





E M O E S R



RESUME

The study of performance, cost and reimburse of O₂ debt obtained at sea level and at 2.600m. in non climatized persons was accompanied with other colateral studies.

cardiac frequency
ventilatory debit
O₂ consume
CO₂ production

Studies were conducted of individuals at rest, in stationary stats of muscular exersice and finally in the recuperation phase.

In high altitude the values in rest phase are distinctively larger to the obtained at sea level. On the contrary these values in the stationary state reaken with cardiac frequency approach the basal state rapidly in high altitudes than at sea level.

RESUMEN

El estudio del rendimiento, del costo y reembolso de la deuda de O₂ obtenida a nivel del mar y a 3.600 m., sujetos no aclimatados, se acompañó de otros estudios colaterales:

— frecuencia cardíaca
— débito ventilatorio
— consumo de O₂
Producción de CO₂

Se estudiaron sujetos en reposo, en estado estacionario de ejercicio muscular y finalmente en la fase de recuperación.

En la altura los valores en reposo son netamente superiores a los valores que obtienen a nivel del mar. Por el contrario, estos valores se aproximan en el estado estacionario del ejercicio, retornando la frecuencia cardíaca más rápidamente en la altura que a nivel del mar.