PubliCE, (PubliCE) 1960

Monograph

Adaptación Circulatoria y Respiratoria al Trabajo Muscular Intenso

Irma Astrand, Per-Olof Astrand, Rune Hedman y Erik Hohwü Christensen

Department of Physiology, Kungl. Gymnastika Centralinstitutet, Stockolm Ö, Suecia.

RESUMEN

Un sujeto entrenado sostuvo una producción de trabajo constante por minuto (2160 kpm.min^{-1} o 360 W) con variaciones en el tiempo de trabajo desde 0,5 min hasta el máximo tolerable de 9 min. Fueron registrados los cambios en el tiempo de diferentes funciones responsables del transporte de oxígeno, tales como la frecuencia cardiaca, ventilación pulmonar, etc. En un tiempo dado después del inicio del trabajo, el sujeto alcanzó valores idénticos para estas funciones y para el consumo de O_2, independientemente de la duración total, que era conocida por el sujeto, cuando se iniciaba el trabajo. La frecuencia cardiaca y otras funciones relacionadas de importancia, concernientes al consumo de oxígeno están estrechamente reguladas por la producción de trabajo y la aptitud física del sujeto y son aparentemente resistente en un grado excepcionalmente alto a los cambios en el estado mental del sujeto entrenado.

Palabras Clave: frecuencia cardiaca, ventilación, VO₂, producción de potencia

INTRODUCCION

Se necesita información más detallada acerca de la reacción del organismo humano al trabajo muscular intenso, cuando parte de la energía debe ser derivada a partir de procesos anaeróbicos y donde un incremento de la concentración de ácido láctico consecuentemente va a limitar la duración del trabajo. En tal situación, el organismo va a estar en un estado de constante cambio, y es de interés medir y analizar los cambios en el tiempo que se producen en las diferentes funciones, tales como en la frecuencia cardiaca, ventilación pulmonar, etc., y que son responsables del transporte de oxígeno.

Si debe ser realizado un trabajo extremadamente intenso hasta el agotamiento, tomando 5 o 10 min, el sujeto debe estar altamente motivado con todas las consecuencias que esto puede tener, por ejemplo, sobre el sistema adrenal. Así, un estado mental completamente diferente puede prevalecer cuando el sujeto sabe que solo tiene que trabajar durante 30 s, y esto podría influenciar los resultados.

Hemos tratado de atacar algunos de los problemas mencionados, simplemente dejando que un sujeto entrenado realice una producción de trabajo por minuto constante con variaciones en la duración del tiempo desde 0,5 min hasta el tiempo máximo tolerable de 9 min. El sujeto siempre dio información acerca de su programa de entrenamiento diario antes del inicio de los experimentos.

METODOS

Todos los experimentos fueron realizados con el sujeto de sexo masculino R. H., quien estaba físicamente bien entrenado. La mayor parte de los experimentos fueron realizados en 1954, de manera complementaria a los que fueron realizados cuatro años más tarde. En el tiempo en que fueron realizados los primeros experimentos, R. H. tenía 25 años, su peso era de 74 kg y su talla de 177 cm. Su máximo consumo de oxígeno medido en una bicicleta ergométrica con una carga que pudo mantener 5 o 6 min, fue de 4,6 $L.min^{-1}$, o 62 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$. Su consumo de oxígeno basal fue de 0,260 L. min^{-1} y su frecuencia cardiaca basal fue de 49 $lat.min^{-1}$. Cuatro años más tarde, estos valores no habían cambiado. El análisis de los resultados a partir de las dos series de experimentos demostró que los datos eran idénticos incluso desde un punto de vista estadístico y todos los valores están incluidos en los resultados de la Tabla 1.

Producción de Trabajo ($kpm.min^{-1}$)	Tiempo de la prueba (min)	Valores post-ejercicio de concentración de lactato	Valores post-ejercicio de concentración de lactato	Frecuencia cardiaca ($lat.min^{-1}$)				VE (L) BTPS				VO_2 (L) STPD			
		(mg/100 mL)	(mM)	Media	ε	DS	n	Media	ε	DS	n	Media	ε	DS	N
2160	0,0-0,5	42	4,6	121	±1,16	±5,6	12	32,7	±1,7	±7,0	10	1,45	±0,01	±0,18	17
2160	0,5-1,0	49	5,4	143	±1,1	±4,1	14	58,7	±0,8	±3,0	13	3,08	±0,03	±0,10	13
2160	1,0-1,5	-	-	154	±1,3	±4,2	10	80,4	±1,3	±4,3	10	3,62	±0,03	±0,10	10
2160	1,5-2,0	62	6,8	158	±1,1	±3,9	12	90,7	±1,6	±4,9	9	3,80	±0,02	±0,06	9
2160	2,0-3,0	86	9,5	163	±0,9	±2,9	11	98,4	±1,5	±4,3	8	3,95	±0,03	±0,08	8
2160	3,0-4,0	110	12,1	168	±0,8	±2,5	10	104,6	±1,7	±4,6	7	4,16	±0,01	±0,02	7
2160	4,0-5,0	125	13,8	173	±1,3	±3,4	7	108,2	±1,2	±3,0	7	4,31	±0,03	±0,08	7
2160	5,0-6,0	131	14,4	177	±1,1	±2,4	5	112,7	±1,5	±4,8	10	4,44	±0,02	±0,08	10
2160	6,0-7,0	144	15,8	182	±-	±-	2	118,1	±1.0	±2,2	5	4,50	±0,02	±0,04	5
2160	7,0-8,0	144	15,8	180	±-	±-	2	122,1	±2,7	±5,4	4	4,59	±0,02	±0,04	4
2160	8,0-9,0	152	16,7	186	±-	±-	1	130,4	±-	±-	2	4,65	±-	±-	2

Tabla 1. *Valor medio, error de la media (ε) y desviación estándar (DS) de la frecuencia cardiaca, ventilación pulmonar y consumo de oxígeno durante el trabajo de 2160 $kpm.min^{-1}$ realizado entre 0,5 y 9 min.*

Los valores basales de frecuencia cardiaca y consumo de O_2 fueron medidos mientras el sujeto, quien estaba en ayunas, permaneció acostado en una cama ubicada cerca de la bicicleta ergométrica. El trabajo fue realizado en una bicicleta ergométrica Krogh inmediatamente después del experimento en reposo sin “entrar en calor”; manteniendo 60 revoluciones por minuto y una carga de 6 kg correspondiente a 2160 $kpm.min^{-1}$ o 360 W. Los tiempos de trabajo variaron desde 0,5 hasta 9 min. El aire expirado fue recolectado en una bolsa de Douglas durante el período completo de trabajo y en modo tal que fue posible realizar un análisis detallado de las funciones respiratorias aun durante el primer minuto de trabajo.

El análisis de gases fue realizado en un aparato Haldane modificado. La frecuencia cardiaca fue registrada con un contador de pulso electrocardiográfico. La concentración de ácido láctico fue determinada en sangre arterializada, tomada a partir de la punta de un dedo precalentado.

Los análisis fueron realizado de acuerdo al método de Barrer y Summerson (1941), modificado por Ström (1949).

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los valores medios, desviaciones estándar y errores de la media para la frecuencia cardiaca, ventilación pulmonar y consumo de oxígeno durante el trabajo. Cuatro o más valores para un dado período de tiempo fueron tratados estadísticamente. Por razones obvias, el mayor número de determinaciones corresponden al primer minuto de trabajo. Los valores, que se refieren al mismo tiempo en el período de trabajo, no muestran variaciones sistemáticas a pesar del hecho de que fueron derivados a partir de experimentos de duraciones completamente diferentes y fueron recolectados en dos series de experimentos separados en tanto como cuatro años.

La Figura 1 ilustra el incremento promedio en la frecuencia cardiaca, ventilación pulmonar y consumo de oxígeno en

diferentes intervalos de tiempo desde el comienzo del trabajo. La frecuencia cardiaca alcanzó 150 latidos.min^{-1} durante el primer minuto de trabajo. Entre el minuto 2 y 9 hay un incremento desde 160 a 180 o de aproximadamente 4 latidos por minuto. La ventilación pulmonar muestra un incremento con una pendiente similar, y fueron obtenidos 72 L.min^{-1} al final del primer minuto. A partir de aproximadamente el 2do minuto, el incremento se hizo más lento y correspondió a un valor de 5,3 L.min^{-1}; en el minuto 9 la ventilación pulmonar alcanzó un valor de 130 L.min^{-1}. El consumo de oxígeno alcanzó 4 L.min^{-1} al final del primer minuto; entre el 2do y 6to minuto aumentó desde 3,85 hasta 4,50 L.min^{-1} o 0,16 L cada minuto; mientras que durante los últimos 3 min de trabajo, el incremento es de solo 0,05 L cada minuto.

El pulso de oxígeno, que representa el consumo de oxígeno por latido del corazón, es prácticamente constante, o de aproximadamente 25 mL, entre el minuto 2 y 9 de trabajo; al final del primer minuto fue alcanzado un valor de 22,6 mL. El pulso de oxígeno está parcialmente determinado por el volumen sistólico del corazón y parcialmente por la diferencia arteriovenosa de oxígeno, y estas funciones aparentemente deben haber alcanzado un valor constante ya a los 2 minutos de trabajo, o un incremento o disminución de su función deben haber sido compensado por el cambio correspondiente en la dirección opuesta en la otra. La última afirmación es menos probable que la primera.
La concentración de ácido láctico sanguíneo presentada en la Tabla 1, representa los valores máximos post-ejercicio obtenidos después de los experimentos de trabajo de una duración de 0,5, 1 min, etc. Consecuentemente, los mismos no representan la concentración real a los 0,5 o 1 min después del inicio del trabajo, pero indudablemente proporcionan un verdadero panorama del incremento de la concentración de metabolitos anaeróbicos en la sangre con el incremento de la duración del trabajo.

La concentración máxima de 152 mg.mL^{-1} indica que el trabajo de 9 min representa el límite que puede ser alcanzado incluso con este sujeto entrenado y fuertemente motivado, quien estaba acostumbrado a tolerar altas concentraciones de ácido láctico.

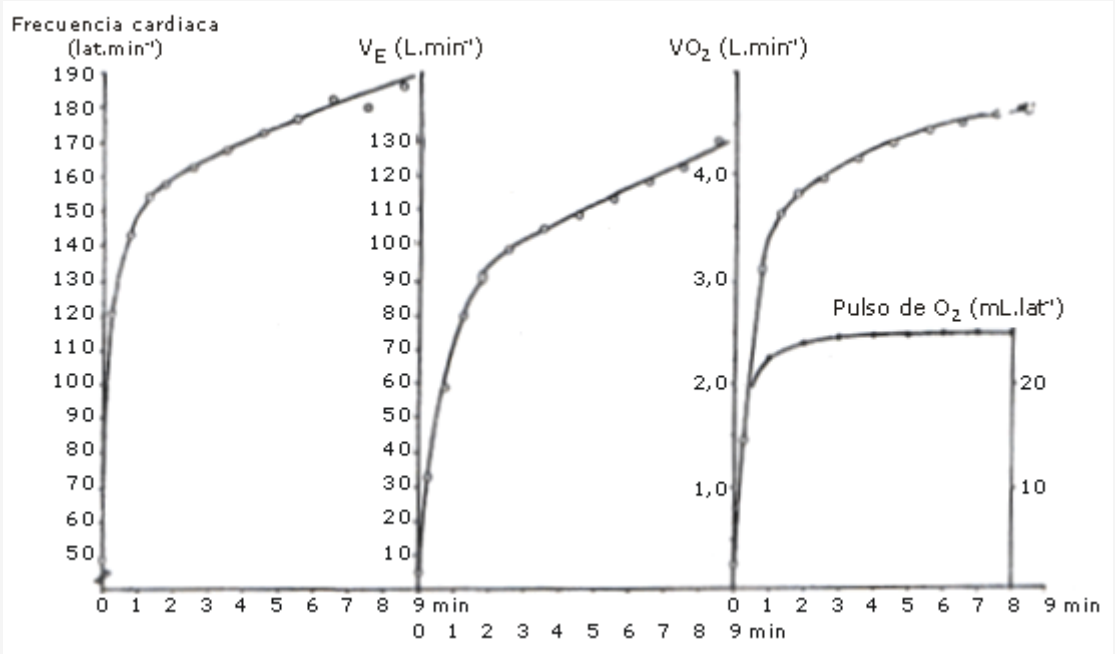

Figura 1. *Frecuencia cardiaca, ventilación pulmonar y consumo de oxígeno en diferentes tiempos después del inicio del trabajo a 2160 kpm.min^{-1}.*

DISCUSION

El temor puede tener una marcada influencia sobre la frecuencia cardiaca y la respiración en reposo. Sin embargo, es una observación general que durante el trabajo, la influencia de la psiquis sobre la frecuencia cardiaca y la respiración está más o menos abolida, excepto bajo condiciones extraordinarias, en donde toda la reacción de emergencia puede activarse. Los resultados mencionados aquí confirman estas primeras observaciones. Para un dado tiempo después del inicio del

trabajo, el sujeto entrenado alcanzó valores de frecuencia cardiaca, ventilación pulmonar y consumo de oxígeno, idénticos, aunque sabía que en un experimento tenía que hacer la relativamente fácil tarea de trabajar durante un minuto, y en otro tenía que ir hasta el agotamiento total. La frecuencia cardiaca y las funciones relacionadas de importancia para el transporte y consumo de oxígeno están claramente reguladas, y están determinadas dentro de límites estrechos por la producción de trabajo y la aptitud física del sujeto y son aparentemente hasta un grado excepcionalmente alto resistentes a los cambios en el estado mental del sujeto. Si esto no fuera cierto, la reproducibilidad de los resultados de un experimento a otro no debería haber sido tan buena como generalmente fue encontrado. Así, la variación día a día en la reacción de la frecuencia cardiaca al ejercicio muscular con cargas de trabajo submáximas en una bicicleta ergométrica, es muy baja, al menos si el sujeto está en una buena condición de entrenamiento. Hemos hecho experimentos con esquiadores de fondo, quienes participaron en tanto como 4 competiciones en 8 días durante un juego Olímpico. Los tests realizados el día anterior y el día después de una carrera, frecuentemente dan resultados idénticos. Desde un punto de vista psicológico, los competidores frecuentemente están tensos antes de la competición, pero muy relajados después de la salida final. Los cambios en la respuesta de la frecuencia cardiaca, si están presenten, pueden frecuentemente ser explicados por los efectos de la deshidratación, infecciones, etc. y están también frecuentemente reflejados en el rendimiento real en competición. La crítica que indica que los resultados de las pruebas frecuentemente realizadas en bicicleta ergométrica o cinta rodante, pueden depender en un alto grado del estado mental del sujeto evaluado, obviamente no es válida, al menos si los sujetos están entrenados y la carga de trabajo es lo suficientemente alta.

Si asumimos una eficiencia mecánica de 23 por ciento, la cual es la eficiencia promedio normal en el trabajo intenso para este sujeto, un consumo de oxígeno de 4,75 $L.min^{-1}$ sería adecuado para una carga de 2160 $kpm.min^{-1}$. Este consumo fue casi obtenido durante el último minuto de trabajo (Tabla 1). El incremento lento en la concentración de ácido láctico durante los últimos 4 o 5 min de trabajo también indica que una fracción incremental del metabolismo total es cubierto por los procesos aeróbicos y menos y menos por los procesos anaeróbicos.

Tal como se mencionó arriba, el consumo de oxígeno prácticamente constante por pulso del corazón desde el minuto 2 hacia delante podría indicar un valor constante del volumen sistólico y de la diferencia aerteriovenosa de oxígeno para los siguientes 7 minutos de trabajo. Si es así, el incremento en el consumo de oxígeno que se produce entre los min 2 y 9 de trabajo, desde 3,85 hasta 4,65 $L.min^{-1}$, puede ser “explicado” completamente a través de un incremento simultáneo en la frecuencia cardiaca, desde 160 a 185 latidos por minutos

Agradecimiento

Este trabajo fue apoyado por una beca de la Sveriges Riksidrottsförbund (Federación Sueca del Deporte).

REFERENCIAS

1. Barker S. B. and W. H. Summerson (1941). The calorimetric determination of lactic acid in biological materials. *J. Biol. Chem., 138, 535-554*

Cita Original

Astrand Irma, Per-Olof Astrand, Erik Hohwü Christensen, y Rune Hedman. Circulatory and Respiratory Adaptation to Severe Muscular Work. Acta physiol. scand; 50: 254□258, 1960.