



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

**MASTER UNIVERSITARIO EN ALTO RENDIMIENTO
DEPORTIVO**

SEGUNDO CURSO

MÓDULO 2.8

**RESPUESTAS BIOLÓGICAS AL ESFUERZO EN EL
ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO**

Profesores: Esteban Gorostiaga Ayestarán
Javier Ibáñez Sántos
José Antonio López Calbet

TRABAJO FINAL

DATOS DEL ALUMNO:

APELLIDOS: RINCÓN CARRASCO.

NOMBRE: ALBERTO.

PROMOCIÓN: 2003-2005.

2003



COMITE
OLÍMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

1. Ejercicio continuo submáximo.

- **Análisis gráfico de la evolución de los diferentes parámetros (FC, lactato, amonio, ácido úrico) estudiados. Razonar la explicación.**

FECHA: 26/09/03

LUGAR: COE

DESCRIPCIÓN: ejercicio a intensidad constante submáxima.

CALENTAMIENTO: series a 8-10-12-14 (20'') con un minuto hasta velocidad de test.

NOMBRE: Cristóbal.

PESO: 66.1 Kgrs.

EDAD: 27 años.

ACTIVIDAD	CADENCIA	TIEMPO	FR. CARD	LACTATO	AMONIO	AC. ÚRICO	
				Mmol/l	micmol/l	Tube	Mmol/l
Reposo			99	1.6	22.7	4.39 mg/dl	
Calentamiento	62.5						
Ejercicio	67.1	1'00					
	67.1	2'00	128				
		3'00					
	67.1	4'00	138				
		5'00					
	68.5	6'00	144				
		7'00					
	68.1	8'00	146				
		9'00					
		10'00	148	4.6	32.4		
Reposo	0.00						
	71.6	11'00					
		12'00					
		13'00					
	69.6	14'00	149				
		15'00					
	65.7	16'00	150				
		17'00					
	68.57	18'00	155				
		19'00					
	67.1	20'00	155	3.2	37.8	4.41 mg/dl	
Fin de ejercicio		0'00					
Recuperación		1'00	117				
		3'00	105	2.8	32.4		
		5'00	96		32.4		
		10'00	93				
		30'00				4.6 mg/dl	
		45'00				4.6 mg/dl	

- Potencia media de los primeros 10'00 = 166.75 W/ minuto.
- Potencia media de los segundos 10'00 = 171.2 W/ minuto.
- Umbral anaeróbico aproximado: 6mmoles/ l.

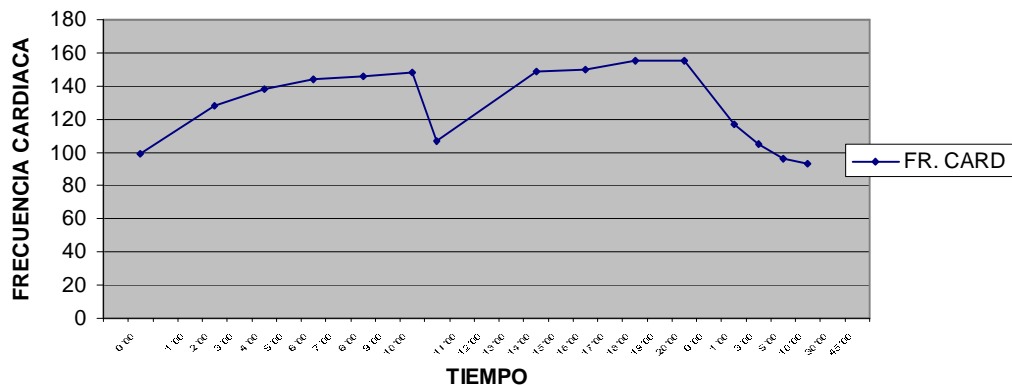


COMITE
OLÍMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

EVOLUCIÓN DE LA FC



El primer registro, en reposo, de frecuencia cardiaca es de 99 pulsaciones por minuto, es un registro alto para estar en reposo, pero si tenemos en cuenta que Cristóbal está pensando en que va a realizar un esfuerzo de 20 minutos a una intensidad submáxima, es lógico que su estado emocional y fisiológico se alteren provocando una mayor activación de su nivel ansiedad, reflejada, entre otras cosas, en un incremento de la frecuencia cardiaca.

A medida que va avanzando la prueba, la frecuencia cardiaca va incrementándose de forma progresiva hasta llegar al minuto 10 (148 ppm), en el que se realiza el reposo. Este incremento en la FC se debe a que los sustratos energéticos de las fibras musculares van metabolizándose para conseguir la energía necesaria en el mantenimiento del ritmo de la prueba y cada vez el porcentaje de metabolismo aeróbico implicado en obtener la energía va siendo mayor, por tanto se necesita un mayor aporte sanguíneo con nutrientes energéticos (glucosa) y con oxígeno, al mismo tiempo que se necesita eliminar desechos metabólicos, como el CO₂ y el agua.

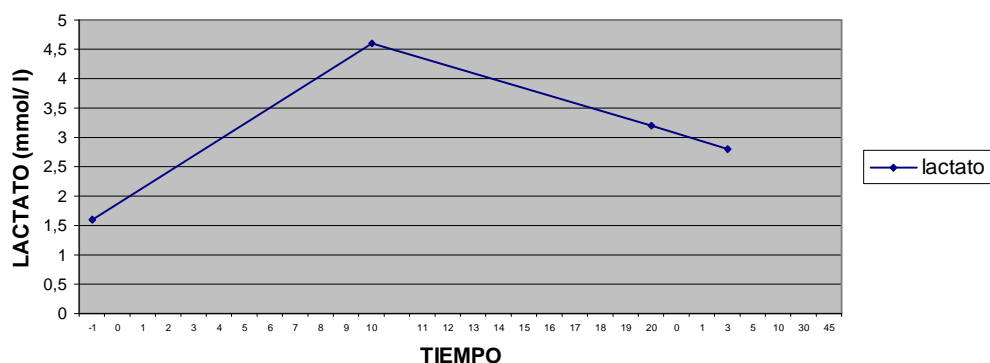
En el minuto 10 se produce una pausa de un minuto, lo que provoca una disminución de la frecuencia cardiaca (hasta 107 ppm) debida a la disminución de exigencias energéticas de los músculos implicados en la actividad.

A partir del minuto 11, se reinicia la actividad manteniendo el ritmo de trabajo de los primeros 10 minutos y, la frecuencia cardiaca vuelve a incrementarse progresivamente a medida que vuelve a ser necesario el aporte de nutrientes y la eliminación de desechos.

Teniendo en cuenta los valores de lactato (siempre menores que 5 mmol/l), amonio (menos de 40 micromol/l) y ácido úrico (entre 4.39 y 4.60 mg/dl, valores basales) y los vatios desarrollados (entre 100 y 175) por Cristóbal en el test, podemos decir que la intensidad de trabajo de esta prueba es cercana a aquella que produciría el agotamiento entre 45 minutos y tres horas a intensidad máxima y constante. Sabemos que en pruebas de ese tipo la frecuencia cardiaca no llega al máximo y que va incrementándose progresivamente hasta que finaliza el ejercicio. Eso es precisamente lo que nos muestra la gráfica, con la excepción de la disminución drástica del minuto 11 que es provocada por el minuto de reposo que se intercala en mitad de la prueba.

Una vez terminada la prueba, la exigencia energética es la basal y la necesaria para que el organismo inicie sus procesos de recuperación de reservas energéticas y eliminación de residuos metabólicos por lo que la frecuencia cardiaca sigue alta pero va disminuyendo progresivamente a medida que se va restituyendo el equilibrio metabólico.

EVOLUCIÓN DEL LACTATO



COMITÉ
OLÍMPICO
ESPAÑOL



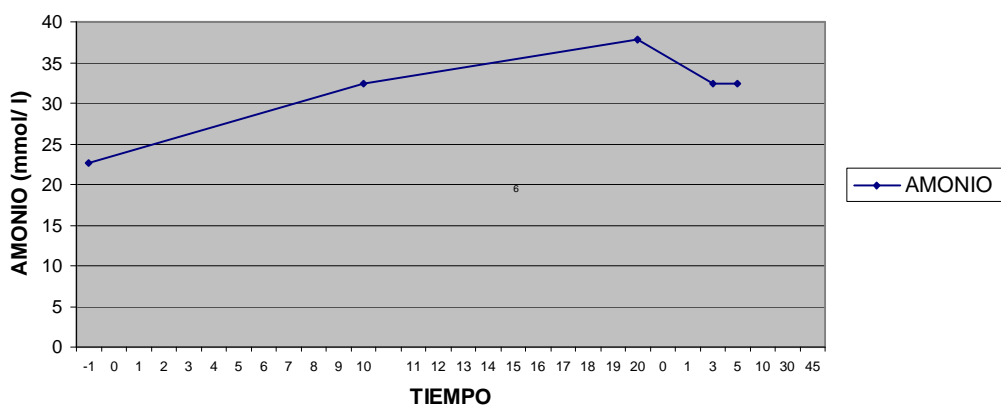
CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

Antes de empezar la prueba, Cristóbal tiene un valor, en la concentración sanguínea de lactato, de 1.6 mmol/ l, un valor de reposo normal. A medida que va avanzando el test, la concentración de lactato va aumentando hasta llegar a 4.6 mmol/ l al terminar el minuto 10. Al inicio del esfuerzo se ponen en marcha los mecanismos de obtención de energía, degradación de ATP, CP y glucosa. Teniendo en cuenta la intensidad y la duración del esfuerzo, el sustrato energético más relevante en la obtención de energía es la glucosa, que primero será degradada anaeróbicamente generando como resultado ácido láctico que poco a poco se irá eliminando a medida que vaya activándose la glucólisis aeróbica, posterior a la anaeróbica. Por esta razón, los primeros minutos de la prueba, la concentración de ácido láctico aumenta hasta alcanzar un pico máximo de prueba que se da antes del minuto 10 para, a partir de ese pico, ir disminuyendo ligeramente.

El comportamiento de la gráfica de la concentración de lactato, nos indica que Cristóbal no está trabajando por encima de su umbral anaeróbico ya que, de ser así, la concentración sanguínea del lactato iría incrementándose progresivamente a medida que avanzase la prueba, terminando con valores más altos (hasta más de 20 mmol/ l, pueden llegar a registrarse). Tampoco nos encontramos en el ritmo de umbral anaeróbico porque entonces, al final de la prueba, la concentración de lactato sería la misma que el pico alcanzado en los primeros minutos o ligeramente superior (menos de 1 mmol/ l superior entre el minuto 10 y el 20 en un esfuerzo de 30 minutos a ritmo constante), y no es así ya que al final de la prueba el valor registrado es de 3.2, es decir, 1.4 por debajo del registro del minuto 10, que no tuvo por qué ser el pico máximo (seguramente, el pico se alcanzase en los primeros 5-10 minutos y comenzase a descender desde entonces, pero pudo alcanzarse antes del minuto 10). Por tanto podemos afirmar que el ritmo de la prueba está ligeramente por debajo del ritmo de umbral anaeróbico individual de Cristóbal, se trata pues de un esfuerzo de intensidad moderada ya que la pendiente del gráfico del lactato es decreciente.

Lógicamente, una vez terminada la exigencia física de la prueba, los valores van disminuyendo poco a poco a medida que el metabolismo va compensando el exceso de ácido láctico (a los tres minutos ya registra 2.8 mmol/ l).

EVOLUCIÓN DEL AMONIO



En la concentración de amonio, se produce un incremento de 22.7 micromol/ l, al inicio de la prueba (concentración basal), a 37.8 al terminar la misma (incremento de 15.1 micromol/ l). Este incremento es debido, seguramente, al resultado de la desaminación de AMP, debido a la degradación del ATP celular (ATP en ADP, ADP en AMP, AMP en IMP + NH₃) que se produce en este tipo de ejercicios. Aunque el principal sustrato energético utilizado en este tipo de esfuerzos es el glucógeno, al principio de la prueba, en los primeros minutos, cobran mayor protagonismo los mecanismos del metabolismo energético anaeróbico aláctico (ATP y CP) y se producen pequeños déficit temporales de aprovisionamiento de ATP lo que hace iniciar el proceso de degradación de las purinas dando como resultado un incremento en la concentración de amonio, incremento que por otro lado es mucho menor que el producido en pruebas de más intensidad.

Precisamente, el mayor incremento (9.7 micromol/ l) se produce en los primeros 10 minutos de la prueba, periodo en el que se pone en marcha el proceso metabólico de obtención de energía. En el segundo



COMITE
OLÍMPICO
ESPAÑOL

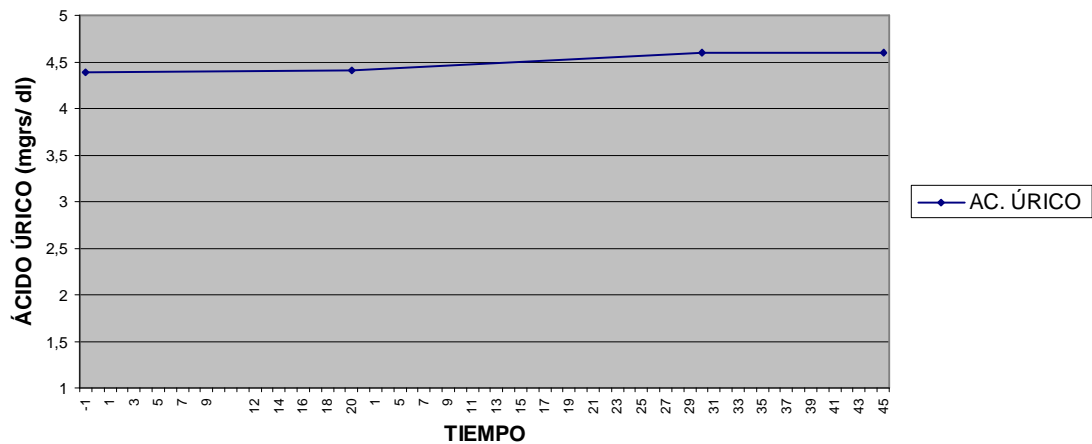


CENTRO
OLIMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

periodo de 10 minutos, el incremento es de 5.4 micromol/l, prácticamente la mitad que en el primer periodo. Tras el minuto de reposo se reinicia la actividad pero el organismo ya está activado (lleva diez minutos de esfuerzo a intensidad moderada) y probablemente el metabolismo energético aeróbico tarde menos tiempo en ponerse en funcionamiento de manera que requiera menos apoyo del anaeróbico por lo que el déficit de aprovisionamiento de ATP sea menor y no sea necesaria tanta degradación de AMP como en los primeros minutos de la prueba.

Una vez terminada la prueba, los valores en la concentración del amonio van disminuyendo paulatinamente hacia los valores de concentración basal.

EVOLUCIÓN DEL ÁCIDO ÚRICO



Se mantiene constante prácticamente durante toda la prueba y además los valores que se registran son valores habituales en estado basal, lo que quiere decir que no hay un descenso significativo en la concentración de ATP celular que haya desembocado en una degradación del IMP del ciclo de las purinas y haya dado como resultado un incremento de la concentración del ácido úrico en sangre.

- Definir la intensidad relativa del ejercicio según diferentes tipos de definición.

Según la velocidad o potencia del ejercicio: para definir la intensidad relativa de Cristóbal en función de la velocidad o potencia del ejercicio, tendríamos que saber cuál es su velocidad máxima en el cicloergómetro (por ejemplo cadencia máxima que puede desarrollar para la potencia del ejercicio o para otra que sirva de referencia) o su potencia máxima en el cicloergómetro (por ejemplo, vatios que Cristóbal puede desarrollar en un minuto en el cicloergómetro), pero no tenemos ningún dato de máxima velocidad o potencia de Cristóbal del que podamos hallar la intensidad relativa.

Podemos hallar los vatios desarrollados por Cristóbal cada minuto de actividad multiplicando la cadencia de cada minuto por los vatios a los que estaba programado el cicloergómetro (por ejemplo en el primer minuto sería 67.1 [cadencia de pedalada] \times 2.5 [vatios de potencia que hay que desarrollar para realizar una pedalada] = 167.75 w desarrollados en el primer minuto) pero no tenemos un máximo con respecto al cual hallemos el porcentaje que supone la potencia desarrollada en cada minuto.

Según el VO₂max: teniendo en cuenta el comportamiento de la gráfica de la concentración de lactato, y según la tesis de Bang (1936), estaríamos ante un esfuerzo de



COMITE
OLIMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

intensidad moderada (la lactatemia aumenta al principio del esfuerzo y se mantiene elevada durante el resto del esfuerzo mostrando una concentración estable o decreciente) y por tanto el VO₂ relativo en este esfuerzo estaría entre el 65 y el 90% del VO₂max de Cristóbal.

Según el umbral anaeróbico individual: siguiendo con el comportamiento de la concentración de lactato durante la prueba, sabemos que no se ha llegado al umbral anaeróbico individual de Cristóbal, ya que la concentración de lactato no se ha mantenido estable, sino que ha ido descendiendo. Como el mayor registro de concentración de lactato en sangre fue de 4.6 mmol/ l y la intensidad del esfuerzo fue constante, podemos deducir que el umbral anaeróbico de Cristóbal está por encima de ese valor. Además en clase se dijo que su umbral anaeróbico estaría en torno a 6 mmol/ l, podemos, pues, estimar que su umbral anaeróbico estaría cerca de esas 6 mmol/ l y por tanto podremos decir que la intensidad relativa del esfuerzo con respecto al umbral anaeróbico estaría entre el 77% del umbral anaeróbico, cuando la concentración fue de 4.6 mmol/ l y el 53% cuando la concentración de lactato fue de 3.2 mmol/ l.

Lo que si se podemos hallar con certeza es la intensidad relativa con respecto a la frecuencia cardiaca máxima ($27 \times 0.7 = 18.9$; $208 - 18.9 = 189$ pulsaciones por minuto) que estaría entre el 68% de FCmax en el primer minuto y el 82% de FCmax en el minuto 20 del esfuerzo.

- Estimar cuál sería la evolución del consumo de oxígeno durante esta prueba.

Teniendo en cuenta lo dicho en el apartado de la intensidad relativa del esfuerzo con respecto al VO₂max, podemos decir que durante la prueba el VO₂ estuvo entre el 65 y el 90% del VO₂max. Sabemos también que en los primeros minutos del esfuerzo, existe déficit de O₂ hasta que se pone en marcha el metabolismo aeróbico, y se obtiene la energía mayormente a través de mecanismos anaeróbicos (ATP celular, CP y glucólisis anaeróbica). Además, el comportamiento de la frecuencia cardiaca nos indica el mayor o menor aporte de O₂ al músculo, es decir, sigue un comportamiento paralelo al VO₂, y nos refleja también que el aporte de O₂ va siendo cada vez mayor, a medida que avanza la prueba y se activa completamente el metabolismo aeróbico. Por tanto, podemos decir que durante el esfuerzo, el VO₂ estuvo a una intensidad relativa entre el 65 y el 90% del VO₂max, y que, dentro de ese margen, el VO₂ fue aumentando de principio a fin a medida que el metabolismo anaeróbico fue dando paso al aeróbico.

- Realizar análisis gráfico sobre cual sería la evolución de dichas variables después de seis semanas de entrenamiento de resistencia (5 veces por semana, 40 minutos por día a una intensidad relativa de umbral aeróbico), durante un ejercicio realizado a la misma intensidad absoluta.

Lo primero que debemos saber es si Cristóbal en la actualidad se está sometiendo a niveles de entrenamiento de resistencia de élite o si por el contrario lleva una vida sedentaria.

Si en la actualidad lleva una vida sedentaria, tras el periodo de entrenamiento, lograría adaptaciones significativas a nivel central (menor frecuencia cardiaca y menor VO₂) y a nivel periférico (menor concentración de lactato) en el desarrollo del esfuerzo para la misma intensidad absoluta. Esta mejora en la respuesta al esfuerzo se produciría



COMITE
OLÍMPICO
ESPAÑOL

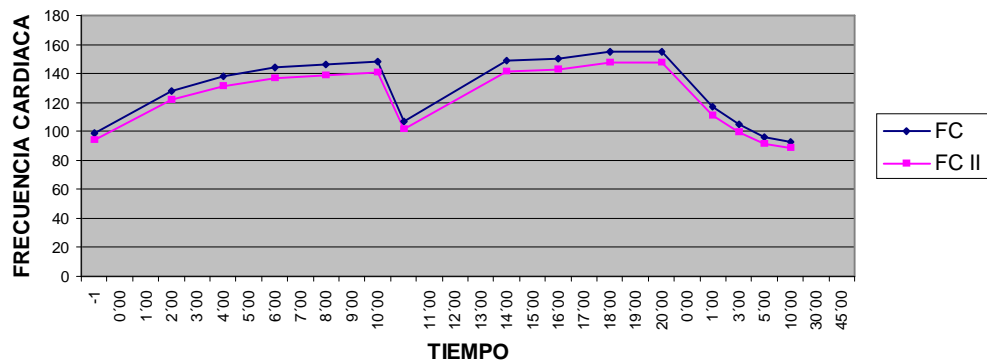


CENTRO
OLIMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

sobre todo en las tres primeras semanas de entrenamiento y estaría, en cuanto al VO₂max, cercana al 5% de mejora (Casabury y col. 1995).

Si por el contrario, Cristóbal, en la actualidad, está sometido a un entrenamiento de resistencia de alto nivel, no tendría ninguna mejora en cuanto al VO₂, al umbral anaeróbico, ni a la frecuencia cardiaca. Pero si podría observarse una mejora en el rendimiento de la prueba, cercana al 1.9% (Eversten y col. 2001).

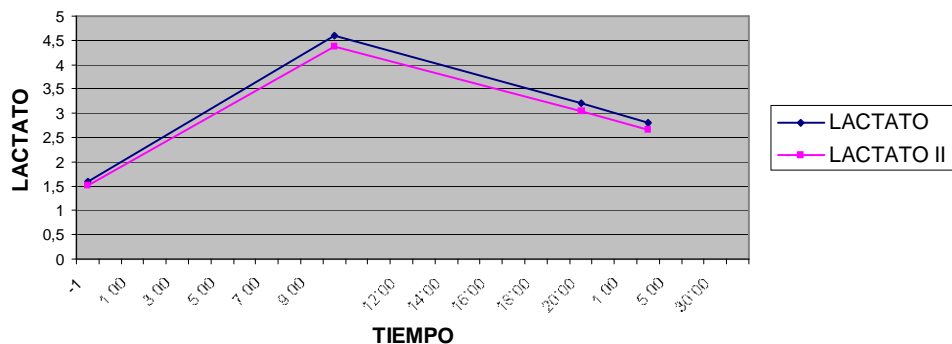
MEJORA DE LA FC



Está sería la mejora (línea rosa) experimentada en cuanto a la frecuencia cardiaca en Cristóbal, suponiendo que en la actualidad estuviese llevando una vida sedentaria y estimando una mejora de un 5%.

En caso de que Cristóbal estuviese sujeto a entrenamientos de resistencia de alto nivel no existiría mejora y la gráfica sería similar a la del primer test.

MEJORA DEL LACTATO



Está sería la mejora (línea rosa) experimentada en cuanto a la concentración de lactato en Cristóbal, suponiendo que en la actualidad estuviese llevando una vida sedentaria y estimando una mejora de un 5%.

En caso de que Cristóbal estuviese sujeto a entrenamientos de resistencia de alto nivel no existiría mejora y la gráfica sería similar a la del primer test.

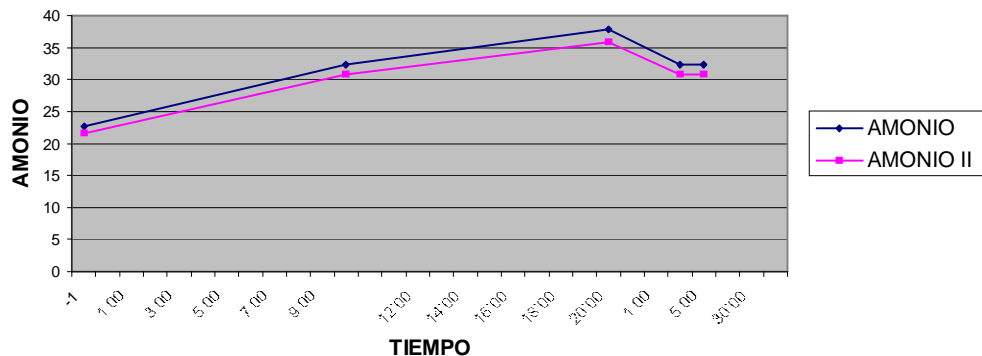


COMITE
OLIMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

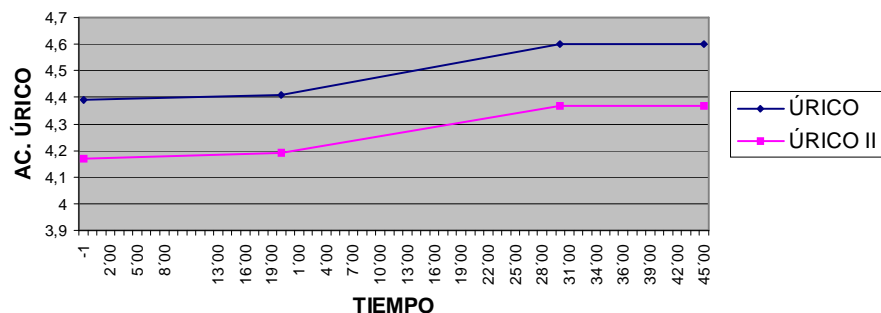
MEJORA DEL AMONIO



Está sería la mejora (línea rosa) experimentada en cuanto a la concentración de amonio en Cristóbal, suponiendo que en la actualidad estuviese llevando una vida sedentaria y estimando una mejora de un 5%. Es lógico pensar que si existe una mejora en la respuesta de los mecanismos aeróbicos, éstos se pongan en marcha antes y haya menos déficit de O₂ con la consiguiente menor desaminación de AMP, produciendo así menos cantidad de NH₃.

En caso de que Cristóbal estuviese sujeto a entrenamientos de resistencia de alto nivel no existiría mejora y la gráfica sería similar a la del primer test.

EVOLUCIÓN DEL AC. ÚRICO



En cuanto a la evolución del ácido úrico, es posible que no se produzca ninguna modificación puesto que, ya en el primer test, la representación de urea se mantuvo dentro de los parámetros basales, no obstante, si hubiese alguna mejora, su representación sería similar a la que muestra la gráfica (línea rosa) estimando una mejora del 5%.

- **Explicar las semejanzas y diferencias existentes entre los valores obtenidos y los del módulo.**

Los valores obtenidos en la prueba son similares a los que se detallan en el apartado “Descriptiva energética de tipo continuo cuya duración está comprendida entre 45’ y 3 horas”, al ser un esfuerzo de una duración de 22’ y submáximo, la intensidad del esfuerzo es similar a la que supondría un esfuerzo de intensidad máxima de entre 45’ y 3 horas.



COMITE
OLÍMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

La diferencia más notable se aprecia en la frecuencia cardíaca a mitad de la prueba, cuando se produce la pausa de un minuto y ésta disminuye hasta 107 ppm. Esta diferencia es lógica teniendo en cuenta que en el módulo se estudia el esfuerzo de entre 45' y 3 horas de una manera continua, sin interrupción, de ahí esa diferencia, que se aprecia perfectamente en la representación gráfica de la frecuencia cardíaca.

Posiblemente, si tuviéramos los valores de las demás variables en el instante previo y posterior al minuto de reposo, podríamos apreciar también un escalón en la representación gráfica de todas las variables, excepto en la del ácido úrico que se mantiene en concentraciones de estado basal durante toda la prueba por no ser necesaria la degradación del IMP por no haber déficits importantes de aprovisionamiento de ATP.

Otra diferencia en cuanto a los esfuerzos que provocan el agotamiento entre 45' y 3 horas es que, como la duración del test es mucho menor, no se produce el agotamiento del glucógeno y por eso no se llega al agotamiento por parte del deportista.

Si comparamos los datos del test con los que presenta el módulo para esfuerzos continuos de intensidad máxima de duración comprendida entre 10 y 30 minutos, encontramos como semejanza la duración de la prueba pero los valores son muy distintos ya que la intensidad es mucho menor en nuestro test. En este caso, la diferencia estriba en que Cristobal presenta una menor frecuencia cardíaca y unas concentraciones de lactato, de amonio y de ácido úrico menores durante todo el esfuerzo.

- ¿Cuáles crees que serían los valores de esas variables si se hubiera realizado un calentamiento adecuado?

Si se hubiese realizado un calentamiento adecuado (calentamiento más duradero y con incrementos de intensidad muy suaves y progresivos hasta llegar a la intensidad del esfuerzo), habríamos logrado una mejor activación de la respuesta del organismo ante el esfuerzo que se realizaría a continuación, tanto a nivel central (frecuencia cardíaca y VO₂) como a nivel periférico (metabolismo aeróbico) lo que habría supuesto, posiblemente empezar con una frecuencia cardíaca algo mayor que la que se registró en la prueba, ya que el organismo ya estaría obteniendo la energía, sobre todo del metabolismo aeróbico y las fibras musculares ya estarían recibiendo un aporte de O₂ adecuado. No obstante, la evolución de los valores en la prueba sería similar, incrementándose paulatinamente hasta el final de la prueba en la que se terminaría con un valor similar al que se obtuvo en la misma.

Por esta misma razón, al empezar la prueba con el metabolismo aeróbico, ya activado, como principal suministrador de la energía necesaria, habría habido menos déficit de oxígeno en las fibras musculares y no se habría acumulado tanto lactato en ellas, ya que éste habría seguido el proceso de la glucólisis aeróbica, por lo que el pico máximo de lactato durante la prueba habría sido menor y la gráfica habría sido más constante desde el principio, terminando con valores similares a los del test.

Es obvio que si con un calentamiento más correcto, evitamos que exista menor déficit de O₂ al principio de la prueba (periodo en el que fue mayor ese déficit), la degradación de ATP hasta IMP + NH₃ será menor por que se puede obtener más energía del glucógeno y por tanto los valores de concentración de amonio serían, desde el principio de la prueba, menores de los que se registraron.

En cuanto al ácido úrico, podemos decir que durante la prueba se mantuvo en valores lógicos de concentración basal, como ya vimos, y que por tanto hubo poca degradación de IMP, con lo que posiblemente, con un calentamiento correcto, los valores habrían sido similares, o quizás ligeramente más bajos.



COMITÉ
OLÍMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

2. Ejercicio continuo máximo.

- **Análisis gráfico de la evolución de los diferentes parámetros (FC, lactato, amonio, ácido úrico) estudiados. Razonar la explicación.**

FECHA: 26/09/03

LUGAR: COE

DESCRIPCIÓN: ejercicio a intensidad constante máxima,

NOMBRE: Yosune Murillo.

PESO: 53.8 Kgrs.

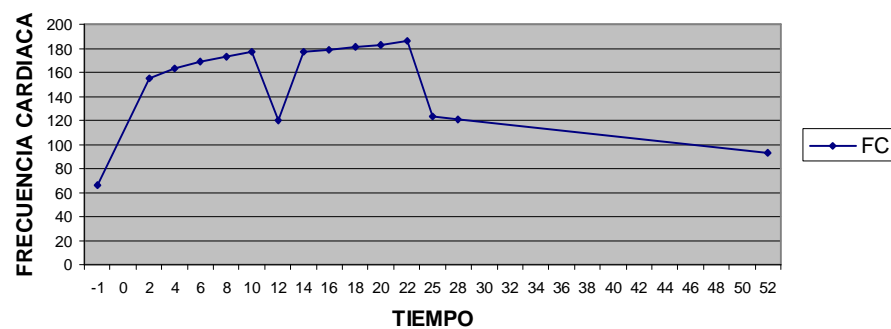
EDAD: 23 años.

RITMO PREVISTO: 2.5 w x 80 pedaladas de cadencia/ minuto= 200 w/ minuto.

ACTIVIDAD	CADENCIA	TIEMPO (minutos)	FR. CARD	LACTATO Mmol/l	AMONIO micmol/l	AC. ÚRICO mg/ dl
Reposo		-1	66	1.4	18.03	3.11
Calentamiento		0				
Ejercicio	79	2	155			
	84	4	163			
	81.4	6	169			
	80.0	8	173			
	79.3	10	177	8.0		
Reposo	0.0	12			32.94	2.91
	83.4	14	177			
	82	16	179			
	80.6	18	181			
	84.2	20	183			
	84.9	22	186	10.5		2.48
Fin de ejercicio		25	123	9.6	56.7	
Recuperación		28	121	7.1	44.28	3.72
		52	93		42.6	
		67				4.32

- Frecuencia cardiaca máxima: $23 \times 0.7 = 16.1$; $208 - 16.1 = 192$ ppm.
- Potencia media de los primeros 10'00 = 203 W/ minuto.
- Potencia media de los segundos 10'00 = 206.3 W/ minuto.
- VO₂max aproximado: 2.45 l/ min ; 46 ml/ kg/ min.

EVOLUCIÓN DE LA FC



El primer registro, en reposo, de frecuencia cardiaca es de 66 pulsaciones por minuto, en este caso, Yosune no tiene las pulsaciones tan altas como las tenía Cristóbal en el test submáximo, seguramente por que está más relajada por estar acostumbrada a este tipo de pruebas (compite en disciplinas de ciclismo) y



COMITÉ
OLÍMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

de esfuerzos, además está al final de temporada y no tiene ninguna competición pendiente hasta la siguiente con lo que no espera ningún resultado especial en esta prueba. Esta actitud ayuda, sin ninguna duda a que su frecuencia cardíaca sea más baja

A medida que va avanzando la prueba, la frecuencia cardíaca va incrementándose de forma progresiva hasta llegar al minuto 10 (177 ppm), en el que se realiza el reposo. Este incremento en la FC se debe a que los sustratos energéticos de las fibras musculares van metabolizándose para conseguir la energía necesaria en el mantenimiento del ritmo de la prueba y cada vez el porcentaje de metabolismo aeróbico implicado en obtener la energía va siendo mayor, por tanto se necesita un mayor aporte sanguíneo con nutrientes energéticos (glucosa) y con oxígeno, al mismo tiempo que se necesita eliminar desechos metabólicos, como el CO₂ y el agua. En este caso la FC es mayor que en el test submáximo porque la intensidad del esfuerzo es mayor y necesita mayor flujo sanguíneo (aporte de más nutrientes como la glucosa y el O₂ y eliminación de más desechos como el CO₂, el agua, el NH₃, etc.).

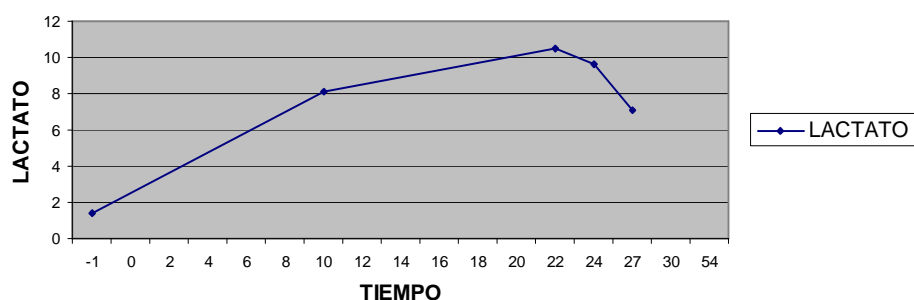
En el minuto 10 se produce una pausa de dos minutos, lo que provoca una disminución de la frecuencia cardíaca (hasta ppm) debida a la disminución de exigencias energéticas de los músculos implicados en la actividad.

A partir del minuto 12, se reinicia la actividad manteniendo el ritmo de trabajo de los primeros 10 minutos y, la frecuencia cardíaca vuelve a incrementarse progresivamente a medida que vuelve a ser necesario el aporte de nutrientes y la eliminación de desechos.

Teniendo en cuenta los valores de lactato (entre 8 y 10 mmol/ l), amonio (entre 30 y 60 micromol/ l) y ácido úrico (de 3.11 a 4.32 mg/ dl) y los vatios desarrollados (cerca de los 200 durante toda la prueba) por Yosune en el test, podemos decir que la intensidad de trabajo de esta prueba es cercana a aquella que produciría el agotamiento entre 10 y 30 minutos a intensidad máxima y constante, como la prueba consta de dos mangas de 10 minutos, podemos afirmar que se trata de una prueba de esfuerzo continuo máximo. Por todo ello, sabemos que la frecuencia cardíaca irá incrementándose progresivamente hasta valores máximos al final de la prueba; Yosune termina la prueba a 186 ppm y su máximo es 192 ppm, por lo tanto termina a una frecuencia cardíaca superior al 95% del máximo (96.9 %). Esta es la evolución progresiva hacia el máximo de FC es la que nos muestra la gráfica con el añadido del descenso en la misma provocado por la pausa que se produce a mitad de prueba.

Una vez terminada la prueba, la exigencia energética es la basal y la necesaria para que el organismo inicie sus procesos de recuperación de reservas energéticas y eliminación de residuos metabólicos por lo que la frecuencia cardíaca sigue alta pero va disminuyendo progresivamente a medida que se va restituyendo el equilibrio metabólico.

EVOLUCIÓN DEL LACTATO



La trayectoria del gráfico de la concentración sanguínea de lactato es bien clara, va incrementándose progresivamente a medida que avanza la prueba. La alta intensidad del esfuerzo hace que el metabolismo aeróbico no sea suficiente para obtener toda la energía necesaria para mantener el ritmo de la prueba, por ello necesita el apoyo del metabolismo anaeróbico que hace que se vaya acumulando lactato en las células y en la sangre, lactato que no es metabolizado en su totalidad por la glucólisis aeróbica (el porcentaje de participación del metabolismo aeróbico en la obtención de la energía necesaria para el desarrollo de la prueba es del 96-97 %).

Estamos, ante un esfuerzo de una intensidad superior a la de umbral anaeróbico, ya que la concentración de lactato no es estable (tras los primeros minutos, se encuentra por encima de 6 mmol/ l) y se incrementa en más de 1 mmol/ l cada 20 minutos.



COMITÉ
OLÍMPICO
ESPAÑOL



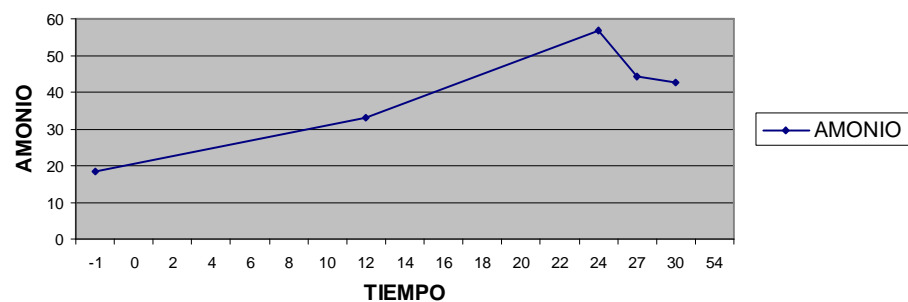
CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

Posiblemente, si tuviésemos la concentración de lactato en los primeros 3 minutos, podríamos ver que es en este periodo (en los primeros minutos de la prueba) donde más pendiente tiene la curva. A partir de ese momento, la concentración de lactato seguiría aumentando progresivamente pero de forma más lenta. En la gráfica se muestra esta diferencia en la pendiente de la curva a partir del minuto 10, precisamente porque es el primer dato que tenemos desde el inicio de la prueba.

Seguramente, en los primeros tres minutos, la concentración de lactato ya esté entre 5 y 7 mmol/l, y a partir de ahí, se sigue incrementando la concentración pero de modo menos acentuado.

Al final de la prueba, se registra, como es lógico, el valor más alto en la concentración de lactato (10.5 mmol/l), y a partir de ese momento, empieza a descender progresivamente a medida que el organismo va eliminando ese exceso de ácido hasta que registre valores de reposo (cerca de 1.5 mmol/l).

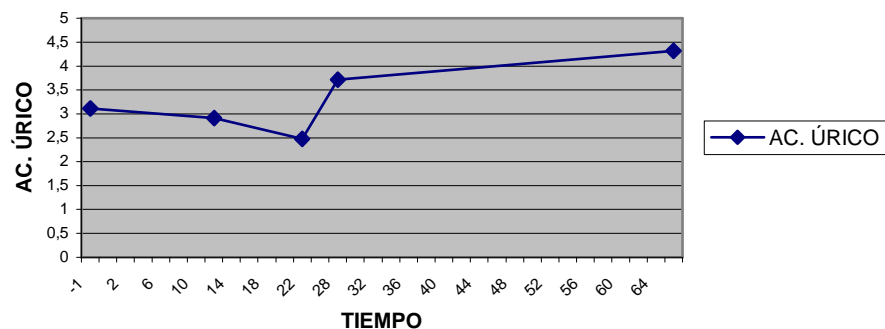
EVOLUCIÓN DEL AMONIO



La concentración de amonio sigue una trayectoria ascendente debida, como ya comentábamos en el test submáximo a la degradación de AMP en IMP + NH₃, provocada por los déficits de aprovisionamiento de ATP en las fibras musculares implicadas. En este caso las concentraciones son mayores que en el caso del test submáximo por la mayor intensidad del ejercicio que provoca más déficits de aprovisionamiento de ATP.

Los registros de concentración de amonio fueron de 18.03 micromol/l en reposo, hasta 56.7 micromol/l al final de la prueba. Una vez terminada se aprecia un descenso progresivo que tiende hacia los valores de concentración basal a medida que se van restaurando las reservas de ATP y eliminando el NH₃.

EVOLUCIÓN AC. ÚRICO



Se produce un ligero descenso en la concentración de ácido úrico durante el tiempo de esfuerzo de 0.63 micromol/l, pero desconozco si este descenso es significativo y por qué lo es, en caso de que lo sea.

Es al terminar la prueba cuando la concentración del ácido úrico se eleva llegando a 4.32 micromol/l a los 45 minutos, después de haber finalizado el esfuerzo. Supongo, que es en ese momento cuando las células se han deshecho del ácido úrico que ha resultado de la degradación de las purinas (del IMP) y ha pasado al torrente sanguíneo, en el que nosotros registramos el incremento.



COMITÉ
OLÍMPICO
ESPAÑOL

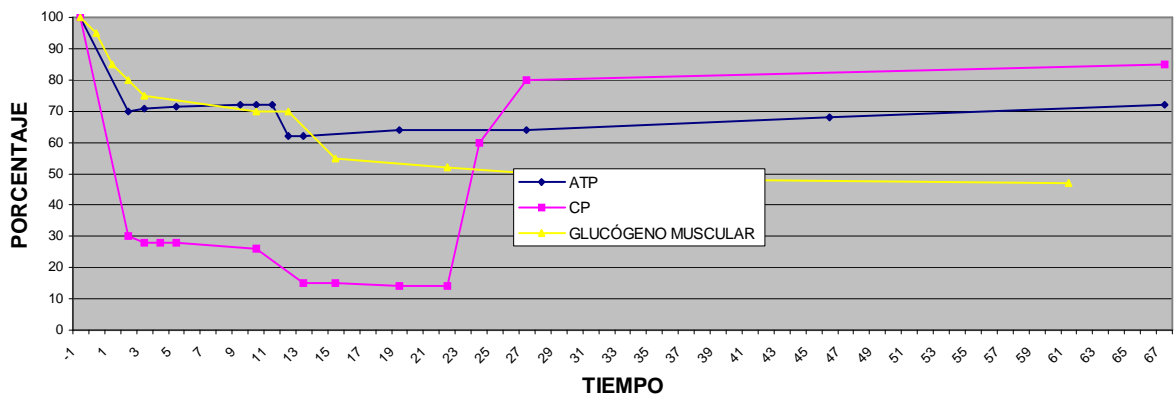


CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

- Análisis gráfico de:

1. La evolución posible de las concentraciones musculares de PC y de ATP.
2. La evolución posible de las concentraciones musculares y sanguíneas de lactato durante el ejercicio.
3. La evolución posible de la concentración muscular de glucógeno.

EVOLUCIÓN DE ATP, CP Y GLUCÓGENO MUSCULAR



1. La concentración muscular de ATP sufre una disminución cercana al 25 % en los primeros 2'30" desde que se inicia el esfuerzo (Karlsson y Saltin. 1970). A partir de ese momento se mantiene o, incluso puede recuperarse ligeramente a lo largo de la prueba. Esta disminución se produce por la necesidad de generar energía en los músculos ejercitados de manera inmediata (recordemos que es el mecanismo más rápido de obtención de energía y que es el que abastece las necesidades energéticas en los primeros instantes de un esfuerzo hasta que se ponen en marcha los demás mecanismos). Una vez ha terminado el esfuerzo (minuto 22), empieza la recuperación de los depósitos de ATP, pero esta recuperación es lenta, ya que suelen degradarse las purinas cuya recuperación es costosa (puede durar uno o varios días).

En la gráfica se observa un pequeño escalón, en el minuto 12, que intenta representar el desgaste añadido de ATP, que supone el poner en marcha por segunda vez el organismo. Obviamente, el metabolismo aeróbico sigue en funcionamiento, a pesar de los dos minutos de pausa, por eso, no se necesita tanto ATP celular para el inicio de este nuevo esfuerzo, por lo que el descenso en la concentración ha de ser menor que al iniciar el test.

Los depósitos de fosfocreatina (CP) sufren también el mayor desgaste en los 2-3 primeros minutos del esfuerzo (Karlsson y Saltin. 1970), ya que, aunque van un poco por detrás del ATP, en cuanto a rapidez, también son fundamentales para los primeros instantes del esfuerzo. En este caso el desgaste es mucho mayor, se llega a consumir cerca de un 75 % de los depósitos de CP en esos 2-3 primeros minutos de esfuerzo. A partir de ese momento, la energía empieza a obtenerse, sobre todo de la glucólisis anaeróbica y aeróbica, y los depósitos de CP se mantienen o disminuyen ligeramente a lo largo del resto del esfuerzo. Una vez ha terminado la prueba, su recuperación, casi completa (cercana al 80%), se produce en los primeros minutos de recuperación, para, a partir de ahí, seguir recuperándose hasta la totalidad más lentamente.

En la gráfica se observa un pequeño escalón, en el minuto 12, que intenta representar el desgaste añadido de CP, que supone el poner en marcha por segunda vez el organismo. Obviamente, el metabolismo aeróbico sigue en funcionamiento, a pesar de los dos minutos de pausa, por eso, no se necesita tanta PC celular para el inicio de este nuevo esfuerzo, por lo que el descenso en la concentración ha de ser menor que al iniciar el test.

3. El glucógeno muscular tiene, en el inicio del esfuerzo la mayor pendiente (mayor desgaste/minuto) en la gráfica, y llegan a disminuir, sus depósitos, hasta un 34 % en un esfuerzo continuado máximo de 16'30" (Karlsson y Saltin. 1970). En los primeros minutos del esfuerzo la glucólisis es sobretodo



COMITÉ
OLÍMPICO
ESPAÑOL



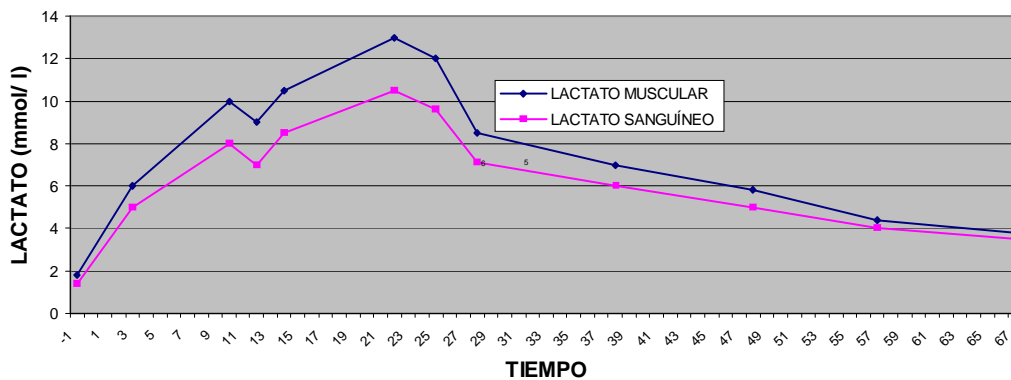
CENTRO
OLÍMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

anaeróbica, por eso, es también en estos instantes cuando la curva del lactato tiene una mayor pendiente. A partir de esos primeros instantes, entra en funcionamiento la glucólisis aeróbica que obtiene mucha más energía (más ATP) por unidad de glucosa, gracias a la utilización del O₂ en el proceso (ciclo de Krebs en las mitocondrias de las fibras musculares) de obtención de energía y por eso el desgaste del glucógeno comienza a ser menor y la pendiente se suaviza hasta que termina el esfuerzo. Una vez ha terminado el esfuerzo (minuto 22), se requiere energía para restaurar el equilibrio orgánico y reponer estructuras y depósitos de energía, por lo que sigue habiendo cierto desgaste.

También en el minuto 12 se observa un incremento de la pendiente del glucógeno que intenta representar el gasto añadido de puesta en marcha por segunda vez de la glucólisis anaeróbica para dar paso a la aeróbica que se encuentra parcialmente activada. El escalón es menor por lo mismo que se ha comentado para el ATP y la CP, no se parte de 0, en el minuto 12, tras dos minutos de recuperación, los mecanismos aeróbicos toda vía siguen en una parte importante activados y, por eso, cuesta menos alcanzar el ritmo del metabolismo aeróbico para soportar el esfuerzo.

Para la recuperación más o menos rápida de los depósitos de glucógeno es fundamental la ingesta o no de hidratos de carbono de absorción rápida o no, ya que en función de estos aspectos, el llenado de estos depósitos se realizará más o menos deprisa.

EVOLUCIÓN DEL LACTATO MUSCULAR Y SANGUÍNEO



2. En cuanto a la **evolución del lactato muscular y sanguíneo**, decir, que como ya hemos comentado en apartados anteriores, la mayor pendiente de la curva se produce en los primeros minutos del esfuerzo (2-3 minutos) y que a partir de ese momento sigue aumentando paulatinamente pero de una forma menos acentuada.

En el minuto 12, tras dos minutos de reposo, se produce un pequeño descenso en la concentración del lactato. Al iniciar otra vez la actividad al mismo ritmo, y, por lo dicho para el resto de parámetros estudiados, se produce otro incremento significativo de la concentración de lactato (minutos 14-15) hasta que se alcanza de nuevo el mejor rendimiento del metabolismo aeróbico y la curva sigue una trayectoria también ascendente, pero menos acentuada.

La curva de la concentración sanguínea se mantiene siempre por debajo de la muscular, ya que el ácido se genera en el músculo, y el sobrante se expulsa hacia el torrente sanguíneo donde se diluye (menos soluto en más disolvente) y se va eliminando. Por ello la curva de la concentración de lactato muscular se mantiene siempre un poco más alta que la sanguínea.



COMITE
OLÍMPICO
ESPAÑOL



CENTRO
OLIMPICO
DE ESTUDIOS
SUPERIORES

- **Explicar la evolución del CMJ y su probable relación con los parámetros sanguíneos estudiados, basándose en lo señalado en el módulo.**

Durante la prueba de esfuerzo no se realizó ningún test de CMJ por lo que no tenemos datos para explicar su evolución y su relación con parámetros estudiados.

- **¿Cuáles crees que serían los efectos de un entrenamiento de seis semanas si se entrenase 5 días a la semana corriendo solamente 2 series, o si se corriesen 4 series, o si se corriesen 6 series?**

- **¿En cuantas más series se agotaría el sujeto?**

- **¿Cuáles pueden ser las ventajas de realizar entrenamiento de series?**

Pregunta equivocada, no se puede contestar.

- **¿Los valores obtenidos al final del calentamiento son correctos?**

No hay datos al final del calentamiento. No se puede contestar esta pregunta.

- **Explicar las diferencias entre el ejercicio submáximo y el intermitente estudiado.**

No se puede contestar a esta pregunta.



COMITE
OLIMPICO
ESPAÑOL