

CINÉTICA DEL OXÍGENO Y DIÓXIDO DE CARBONO EN EL TEST DE MOUCHE PARA JUGADORES DE BÁSQUETBOL

Bazán, N.E., Minckas, N., Mouche, M. Laboratorio de Actividad Física y Salud, Instituto Superior de Deportes, Buenos Aires, Argentina, 2010.

Objetivo: describir la cinética del oxígeno y el anhídrido carbónico en el test de Mouche, una prueba específica para básquetbol. Este test consiste en un recorrido continuo, de ida y vuelta, de una cancha de básquet (28 metros) durante doce minutos a la máxima velocidad sustentable.

Material y métodos: fueron evaluados seis jugadores de básquetbol, con una edad media de $24,25 \pm 7,58$ años, un peso corporal de $83,25 \pm 17,94$ kg y una estatura de $186,33 \pm 14,43$ cm. Se le monitoreó el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de dióxido de carbono (VCO_2) durante la realización de la prueba, a través de un método directo con el analizador portátil de gases metabólicos VO_{2000} de Medgraphics, de 740 g de peso, almacenando la información en intervalos de 10 segundos. El analizador de O_2 trabaja con una célula galvánica y la precisión en el análisis es de $\pm 0.1\%$ y el analizador de CO_2 trabaja con sistema infrarrojo con una precisión del $\pm 0.2\%$. Se utilizó el software Breezesuite de análisis corriendo en Windows XP. **Resultados:** en promedio se recorrieron $86,46 \pm 7,12$ canchas, a una velocidad promedio de $3,36 \pm 0,27$ m/s. Los datos obtenidos demuestran un VO_2 peak promedio de $3854,0 \pm 796,7$ mL/min y VCO_2 peak de $4223,3 \pm 803,7$ mL/min. Las curvas de VO_2 y VCO_2 mantienen un patrón similar observándose un aumento inicial de ambas variables, determinándose el umbral ventilatorio a los 1.53 ± 0.30 min, seguido de una estabilización del VO_2 y una disminución de la VCO_2 luego de alcanzar su valor pico a los 3.45 ± 1.02 min. En aquellos jugadores cuya velocidad promedio fue inferior a los 3,4 m/s, hay un declive marcado de VCO_2 posterior al valor pico. Por el contrario, los jugadores que superaron esa velocidad mantuvieron su VCO_2 estable una vez superado el umbral ventilatorio. El cociente respiratorio durante la totalidad de la prueba supera la unidad, elevándose aún más en el momento de máxima producción de anhídrido carbónico, o sea los primeros 3/4 de la curva. **Conclusión:** el VO_2 y la VCO_2 se comportan de manera predecible, pudiendo distinguirse dos etapas. La primera, desde el comienzo del test hasta el momento del pico de VCO_2 , que se caracteriza por un aumento de ambas variables. En esta etapa se encuentra el punto de umbral ventilatorio, en el cual el VCO_2 supera al VO_2 , debido a la incorporación del CO_2 proveniente de la amortiguación del ácido láctico generado a partir de la glucólisis rápida láctica. En la segunda etapa, se observa una estabilización del VO_2 , y el VCO_2 disminuye progresivamente, indicando una caída en la intensidad de la actividad como respuesta a la aparición de fatiga.

Introducción

Cada deporte posee características que le son propias. A un basquetbolista le resultará imposible mantener una carrera continua por horas debido a que su estructura, su condición física y su entrenamiento se lo impedirían. De igual manera, un corredor de fondo será vencido rápidamente si intentase practicar básquet,

fútbol o hockey en forma competitiva. Esta incompatibilidad entre diversas disciplinas es explicada sencillamente mediante la aplicación del *principio de especificidad* del deporte (Del Valle, 2000). Este autor enfatiza la importancia de la especificidad como base para conseguir altos rendimientos en el deporte de competencia. La valoración fisiológica considerando las características individuales y las particularidades de la

disciplina debe ser el punto de partida para la planificación de entrenamientos.

Teniendo dicho principio en consideración, se necesitarán herramientas para evaluar el estado de aptitud física, así como planificar y monitorear un plan de entrenamiento. La creación de test específicos para cada deporte surge de esa necesidad. Los entrenadores a lo largo del último tiempo han desarrollado un gran variedad de pruebas de evaluación que conciben con las características de su especialidad: el Yo-Yo test en el fútbol, el Wingate en el ciclismo y el test de 1500 en natación, son sólo ejemplos de ello. Apegado a dicho principio, el licenciado Mario Mouche, junto con su equipo de colaboradores, detectó la necesidad de crear una prueba propia para el básquetbol. Con tal propósito desarrolló el test que actualmente lleva su nombre. El test de Mouche consiste en **recorrer durante 12 minutos la cancha de básquet ida y vuelta a ritmo sostenido (como el cooper en la pista) pisando con el pie derecho en una línea de fondo y el pie izquierdo en la otra línea. Se registra la cantidad de canchas que hizo, más el parcial si lo hubiera, y se multiplican los metros de la cancha por la cantidad de canchas y se le suma el parcial si lo hubo. De esta manera se obtiene la cantidad de metros recorridos totales.**

cubrir la mayor distancia posible durante doce minutos de carrera continua, en una cancha de básquet (28 metros), alternando de pierna en cada frenada para evitar la fatiga local en las extremidades.

La ejecución de la prueba en el campo de juego le quita el sesgo que puede ser introducido al realizar la evaluación en un laboratorio. Asimismo, la incorporación de

“frenadas y arranques” adapta la biomecánica de la prueba a las características del deporte, generando que el tiempo, la fatiga periférica y el gasto energético se aproximen a lo verdaderamente ocurrido en la disciplina en cuestión.

Debido a la simpleza del test y a su capacidad de reproducción, consideramos interesante describir el comportamiento de las variables fisiológicas relacionadas con la capacidad aeróbica. A su vez analizaremos la cinética de los gases – consumo de oxígeno, producción de dióxido de carbono y cociente respiratorio- durante la realización de la prueba, con el objetivo de poder realizar una interpretación más enriquecedora de los resultados brindados por el Test de Mouche.

Material y métodos

La población en estudio se encuentra conformada por seis jugadores de basquetbol pertenecientes a la liga local. Todos los evaluados se hallaban en actividad durante la realización de la prueba. La edad, el peso corporal y la talla promedio era de $24,25 \pm 7,58$, $83,25 \pm 17,94$ kg y $186,33 \pm 14,43$ cm, respectivamente (*Tabla 1*).

n	Peso (kg)	Talla (cm)	Edad (años)
1	63,60	178,00	18,02
2	109,40	206,00	22,16
3	89,70	197,00	17,98
4	70,60	176,50	27,02
5	70,10	168,00	38,14
6	96,10	192,50	22,18

MEDIA			
+ DS	83,25±17,94	186,33±14,43	24,25±7,58

Tabla 1. Descripción de la población en estudio

Para la investigación los sujetos debieron someterse al test de Mouche. Esta prueba consiste en recorrer la mayor cantidad de canchas de básquetbol posibles (28 metros) mediante una carrera continua durante 12 minutos, alternando los pies durante el frenado, en cada extremo de la pista. Para su realización los jugadores realizaron una breve entrada en calor. El total de canchas recorridas multiplicado por la longitud de ella indica el total de metros recorridos por cada jugador durante la realización del test. Los doce minutos de duración de la prueba se evaluaron con un cronómetro de mano.

Para el estudio del consumo de oxígeno (VO₂) y producción de dióxido de carbono (VCO₂), se utilizó un analizador de gases metabólicos VO²⁰⁰⁰ de Medgraphics® junto con el software Breezesuite conectado a una computadora con Windows XP.

El VO²⁰⁰⁰ es un dispositivo portátil (dimensiones: 10,5x5x14cm; peso: 740g) que contiene una celda galvánica que actúa como analizadora del oxígeno (precisión: ±0,1%) y un sistema infrarrojo no dispersado que mide la producción de anhídrido carbónico (precisión: ±0,2%). Los datos fueron transmitidos respiración por respiración al programa Breezesuite y promediados en intervalos de 10 segundos. La calibración del VO²⁰⁰⁰ se realiza en forma automática mediante un sistema patentado. El propósito del dispositivo era evaluar el

rendimiento atlético a través del estudio metabólico del atleta. Esta tecnología innovadora permite una mayor precisión del análisis de gases manteniendo las condiciones de procedimiento.

La frecuencia cardíaca (FC) será analizada en relación a la máxima (FC_{max}) calculada mediante la fórmula de Fox y Hashell: FC_{max}= 220- edad, considerando un desvío estándar de ±8,5 ppm.

Mediante el uso de estadística descriptiva analizaremos los resultados obtenidos del test de Mouche y la espirometría presentándolo como media y sus desvíos estándar.

Resultados

Durante la realización del test se corrieron un promedio de 86,46±7,12 canchas de básquetbol. Considerando la longitud estandarizada de un campo de juego (28 metros) se puede determinar la distancia recorrida por los jugadores, siendo en total de 2420,83±199,49m a una velocidad de 3,36±0,28m/s (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del Test de Mouche

n	Nº de canchas recorridas	Distancia recorrida (m)	Velocidad (m/s)*
1	90,00	2520,00	3,50
2	80,00	2240,00	3,11
3	84,00	2352,00	3,27
4	97,00	2716,00	3,77
5	78,00	2184,00	3,03
6	90,00	2513,00	3,49
MEDIA ± DS	86,46 ± 7,12	2420,83±199,49	3,36±0,28

*La velocidad fue calculada dividiendo la distancia recorrida por la totalidad de la duración de la prueba (12 minutos)

oxígeno y producción de dióxido de carbono de cada jugador. La tabla 3 muestra el resultado de VO₂ y VCO₂ individual separado en intervalos de un minuto.

Mediante el analizador de gases VO²⁰⁰⁰ obtuvimos los valores de consumo de

Tabla 3. Valores de gases por minuto durante el Test de Mouche

n	1		2		3		4		5		6	
Tiempo	VO ₂	VCO ₂										
01:00	2210	1970	3414	3492	1974	1922	4364	4434	3860	3736	2898	2790
02:00	2792	2872	4252	4656	2678	2858	4492	5078	3736	4454	3192	3736
03:00	2810	2956	4296	5036	2804	3256	4564	4924	3692	4468	3198	4050
04:00	2992	3062	4278	4932	2748	3262	4657	4962	3772	4454	3390	4060
05:00	3034	3064	4396	4924	2846	3260	4751	4916	3784	4342	3276	3942
06:00	2974	2972	4520	4932	2906	3342	4845	4788	3734	4112	3272	3818
07:00	2844	2812	4614	5014	2922	3244	4938	4702	3784	4042	3290	3758
08:00	2900	2830	4604	4950	2860	3152	5032	4680	3702	3924	3268	3648
09:00	2838	2748	4360	4532	2890	3086	5125	4776	3678	3802	3312	3642
10:00	2990	2930	4382	4460	2834	3018	5219	4768	3636	3742	3392	3622
11:00	2828	2818	4466	4558	2806	2950	5313	4788	3622	3720	3390	3724
12:00	2728	2750	4316	4316	2632	2732	4272	4396	3618	3710	3206	3580

[VO₂], [VCO₂]= mL/min
Tiempo= minutos

Al comenzar la prueba los jugadores realizaron una breve entrada en calor, lo que llevó a que comenzaran con un VO₂ mayor al de reposo. El aumento gradual de consumo y producción de gases se mantuvo acorde al nivel que poseían al momento de comenzar el test. El VO₂ promedio total fue de 3512,08 ±817,51ml/min mientras que la VCO₂ promedió los 3723,75± 806,73 ml/min.

Tabla 4. VO₂ y VCO₂ promedio y peak

n	VO ₂ promedio	VO ₂ peak	VO ₂ promedio	VCO ₂ peak
1	2738,71	3046,00	2727,45	3088,00
2	4232,53	4736,00	4562,62	5136,00
3	2647,03	3010,00	2902,97	3420,00
4	4665,04	4722,00	4629,84	5156,00
5	3638,72	4174,00	3933,70	4480,00
6	3150,42	3436,00	3585,92	4060,00
MEDIA	3512,08	3854,00	3723,75	4223,33
DS	817,51	796,70	806,73	863,68

[VO₂], [VCO₂]= mL/min

Como se puede apreciar en el Gráfico 1, las curvas de ambas variables- VO₂ y VCO₂- muestran un aumento similar al comienzo de la prueba. En el minuto 1.53±0.30 se encuentra representado el punto de umbral ventilatorio, en el cual hay un cruce de ambas curvas. Pasado ese momento el VO₂ comienza a estabilizarse hasta que alcanza su valor pico de 3854,00±796,70 ml/min, luego del cual la pendiente de la curva toma la inclinación contraria, disminuyendo el consumo.

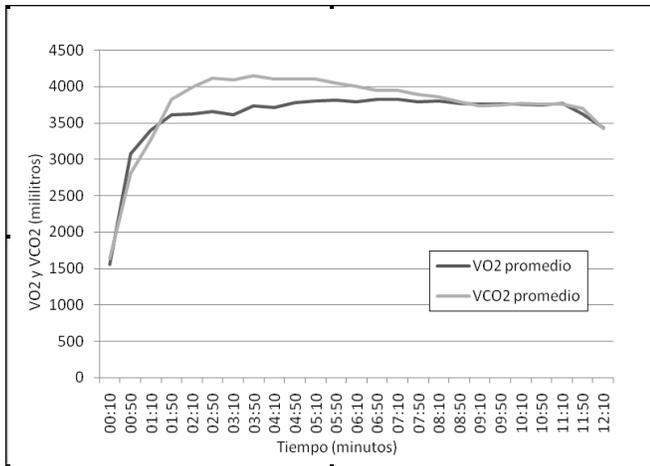


Gráfico 1. Curva promedio de VO2 y VCO

La cinética de VCO2 difiere de lo anteriormente descrito. Pasado el punto de umbral ventilatorio continúa con un acentuado aumento hasta que a los

3.45+1.02 min alcanza su valor pico de 4223,33 ±863,68 ml/min.

Con el propósito de relacionar ambas variables empleamos el cociente respiratorio (R); tal como lo indica su nombre, se obtiene de la división entre VO2 y VCO2. Este valor indica el sustrato metabólico que se está empleando en cada momento. Se considera que en reposo este cociente se encontraría cercano a 0,8 mientras que en aquellos ejercicios en los cuales se requiera de glucólisis rápida para la obtención de energía superaría 1. Debido a la naturaleza del ejercicio en cuestión y a la entrada en calor previa a la prueba, el R se mantiene en la totalidad del ejercicio superando el punto crítico de cambio de sustrato (R=1). Este

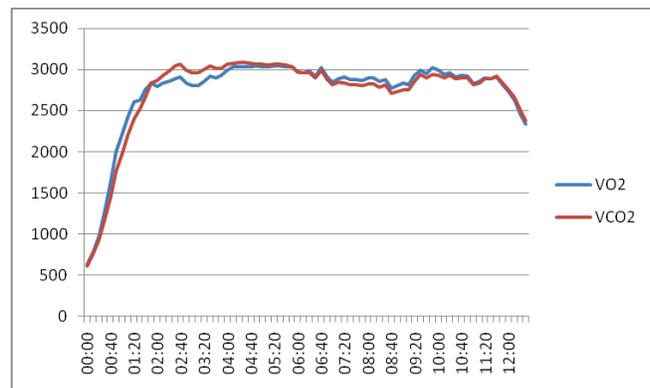


Gráfico 2. Curva de VO2 y VCO2 correspondiente al jugador 1, con una velocidad media de 3,5m/s

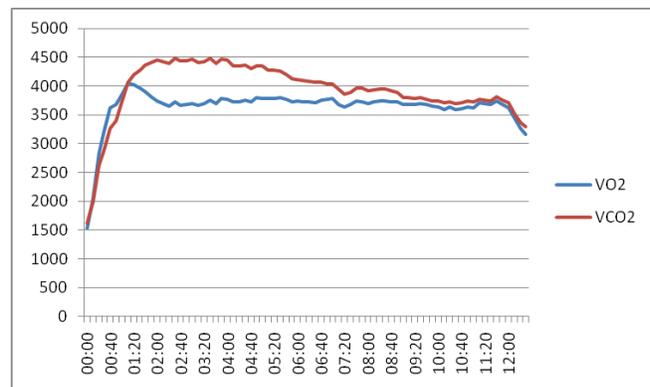


Gráfico 3. Curva de VO2 y VCO2 correspondiente al jugador 5, con una velocidad media de 3,03m/s

incremento del R se encuentra exacerbado en los $\frac{3}{4}$ iniciales de la curva, coincidentes con el pico máximo de VCO_2 .

La principal relación entre variables encontrada durante la realización de la prueba fue entre la velocidad y la pendiente decreciente de VCO_2 . Aquellos jugadores que sobrepasaron los 3,4m/s (tomando esta velocidad como un punto de referencia equidistante entre la velocidad máxima y mínima alcanzada) mantenían una producción de anhídrido carbónico cercana al pico por un tiempo más prolongado. Por lo contrario, aquellos que se mantuvieron por debajo de ese punto disminuyeron su producción de dióxido de carbono en forma más veloz (Gráfico 2 y Gráfico 3).

La ventilación minuto a temperatura corporal y presión saturada (VE btps) dibuja una curva similar a la de VCO_2 . Posee un ritmo acelerado hasta el mismo punto en el cual la VCO_2 llega a su pico. Luego de ese momento la VE se estabiliza y se mantiene oscilante sobre un valor promedio de $118,61 \pm 26,54$ l/min.

La FC se mantiene en niveles elevados durante la totalidad de la prueba, alcanzando en todos los casos la FC máxima obtenida a través de la fórmula de Fox y Hashell. Tal es así que la FC pico se desvía en uno de los caso del intervalo de confianza. La frecuencia cardíaca pico promedio fue de $199,25 \pm 7,14$ ppm mientras que la FC máxima obtenida por el cálculo matemático es de $193,67 \pm 8,70$ ppm con un intervalo de confianza de $\pm 8,5$. Debido a la alteración previamente explicitada, no se describirá la variación del ritmo cardíaco en el desarrollo del trabajo.

En el diseño del trabajo se buscó describir la cinética del oxígeno y el anhídrido carbónico a través de la realización de una prueba específica para el básquetbol. Esta prueba tiene en consideración la variación en la intensidad, duración, frecuencia y cinética del deporte características que permiten englobarlo dentro de los *deportes acíclicos* (Argemi, 2001). Asimismo, el test intenta atenuar los sesgos mediante la utilización del propio campo de juego para su ejecución.

A través del estudio pudimos determinar dos etapas. La primera tiene una duración 3.45 ± 1.02 min, comprendiendo desde el comienzo del ejercicio hasta el punto de máxima VCO_2 . En esta etapa tanto el VO_2 como la VCO_2 aumentan conforme la intensidad del trabajo. Ese incremento lineal de ambas variables puede ser mantenido hasta el punto en el cual comienza a haber una elevación en la concentración de lactato (Holly, 2000) . Ese punto es denominado “umbral ventilatorio”, “umbral anaeróbico” o “umbral de lactato” (Subiela, 2007) y fue determinado a través del método no invasivo de pendiente del V de Beaver (Beaver, Wasserman et al., 1986). El umbral anaeróbico es el momento en el cual el ritmo de producción de lactato como consecuencia de la glucólisis rápida supera al mecanismo de remoción, provocando un aumento de lactato en sangre. Ese punto, tal como lo explica Beaver, se puede ver representado por el cruce de las curvas de VO_2 y VCO_2 , en el minuto 1.53 ± 0.30 del test de Mouche. El aumento de la concentración de la sal disociada lleva consigo una elevación en los niveles de protones musculares, y una

Discusión

consecuente acidosis en el medio. Esta disminución del pH obliga a incrementar el ritmo ventilatorio (VE) como mecanismo control de amortiguación (Wilmore, Costill, 2007). Es por eso que en las curvas presentadas anteriormente se puede percibir un incremento acelerado de la VE y la VCO₂, con un VO₂ con una leve pendiente positiva.

El punto de máxima VCO₂ da comienzo a la segunda etapa la cual se caracteriza por una declinación de ambas curvas (VO₂ y VCO₂) y por la estabilización de la VE. La principal explicación encontrada para justificar dicho suceso es la caída de la intensidad de la actividad como consecuencia de la aparición de fatiga muscular. Si bien no se puede determinar un único factor responsable de la fatiga muscular, la disminución del pH puede ser señalado como el más importante (Giraldo, Sanchez, 1998). Asimismo, el VO₂ reducido evidencia una disminución en la performance física. Aquellos sujetos que realizaron la prueba a una velocidad promedio mayor llegaron a la fatiga en forma más tardía, lo que permite concluir que su condición física era superior.

Conclusión

El presente trabajo se restringe meramente a la descripción de los sucesos fisiológicos evaluados a través del test de Mouche. Su principal objetivo es sentar las bases para la realización de trabajos futuros que permitan ampliar el espectro de conocimiento que existe actualmente.

Bibliografía

American College of Sports Medicine (2000)

Manual de consulta para el control y prescripción del ejercicio. 1ra Ed. Barcelona: Paidotribo

Argemi R. (2001) *Ejercicio intermitente en deportes de conjunto: análisis y aplicación en el proceso de entrenamiento deportivo.* Buenos Aires. [Manual de Entrenamiento en Fuerza y Potencia- CENARD].

Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. *A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange.* J Appl Physiol, 1986; 60:2020-2027.

Del Valle (2000) *La biomecánica de la medicina del deporte.* Boletín Femede, 32

Dupont G, Millet GP, Guinhouya C y otros. (2005) *Relationship between oxygen uptake kinetics and performance repeated running sprints.* Eur J Appl Physiol, 95:27-34

Gianoudis J, Webster KE, Cook J. (2008). *Volume of physical activity and injury occurrence in Young basketball players.* Journal of Sports Science and Medicine, 7: 139-143

Giraldo JC, Sánchez ME (1998). *El lactato como posible factor del mecanismo de fatiga muscular.* Colombia Med, 29: 87-91

Guyton AC, Hall JE. (2005). *Respiración.* En: Guyton AC, Hall JE. *Tratado de fisiología médica.* 10 ma Ed. Madrid: McGraw-Hill, 525-599.

Mac Dougall JD, Wenger HA, Green HJ. (2005). *Evaluación fisiológica del deportista.* 3ra Ed. Badalona: Paidotribo

Mouche, M. *Determinación de una nueva forma de evaluación de consumo máximo de oxígeno en deportes acíclicos: aplicación específica a básquet.* Buenos Aires. [Tesis Licenciatura en Alto Rendimiento- CENARD]

Subiela, JV. (2007) *Aspectos fundamentales del umbral anaeróbico.* VITAE Academia Biomédica Digital, 30

Spencer M, Bishop D, Dawson B y otros. (2005). *Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Activities: specific to field based team sports.* Sports Med, 35 (12): 1025-1044

Wilmore J, Costill DL (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. 6ta Ed. Barcelona: Paidotribo