

Mateo-March, M.; Zabala, M.; Blasco-Lafarga, C. y Guzmán, J.F. (2012). Concentración de lactato versus diseño y dificultad de la pista en BMX. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 12 (45) pp. 52-65. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista45/artdinamica270.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista45/artdinamica270.htm)

## ORIGINAL

### CONCENTRACIÓN DE LACTATO VERSUS DISEÑO Y DIFICULTAD DE LA PISTA EN BMX

### BLOOD LACTATE CONCENTRATION VERSUS DESIGN AND DIFFICULTY OF THE TRACK IN BMX

Mateo-March, M.<sup>1, 2</sup>; Zabala, M.<sup>1, 3</sup>; Blasco-Lafarga, C.<sup>4</sup> y Guzmán, J.F.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Federación Española de Ciclismo, Madrid, España.

<sup>2</sup>Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, España [manuel.mateo@ymail.com](mailto:manuel.mateo@ymail.com)

<sup>3</sup>Departamento de Educación Física y Deporte, Universidad de Granada, España. [mikelz@ugr.es](mailto:mikelz@ugr.es)

<sup>4</sup>Departamento de Educación Física y Deporte, Universidad de Valencia, España. [cblascolafarga@gmail.com](mailto:cblascolafarga@gmail.com), [Jose.F.Guzman@uv.es](mailto:Jose.F.Guzman@uv.es)

**Código UNESCO:** 2411 Fisiología humana.

**Clasificación del Consejo de Europa:** 6. Fisiología del ejercicio.

**Recibido** 20 de mayo de 2010

**Aceptado** 28 de marzo de 2011

## RESUMEN

Este trabajo analiza si la producción láctica presenta una dinámica concreta según las fases de una carrera de BMX, y su posible relación con la dificultad/diseño de la pista. Nueve atletas del equipo nacional realizaron tres tipos de carrera: Sin pedalear (NP), Pedaleando sólo en Rampa de Salida (PRS), y Pedaleando Libremente (PL), en tres días y pistas de diferente dificultad: Alta (AD), Media (MD), y Baja (BD) -orden randomizado, contrabalanceado y con recuperaciones de 10 min-. Nuestros resultados atribuyen el 11,7% de la producción láctica a la aceleración inicial (PRS; mayor a mayor Dificultad), el 65,7% a las acciones de impulsión (NP), y el 22,6% al pedaleo final. El Anova de medidas repetidas muestra diferencias ( $p < 0.000$ ) a favor de PL, diferencias que se mantienen al considerar Dificultad\*Pedaleo ( $p < 0.022$ ). El factor "dificultad", afectado por el diseño, condiciona la lactacidemia al influir sobre la "técnica" posible en cada fase.

**PALABRAS CLAVE:** lactato, BMX, pista, ciclismo, rendimiento.

## **ABSTRACT**

This paper analyzes whether lactate production presents a specific dynamic according to the phases of a BMX race, and its possible relationship to the difficulty / design of the track. Nine Spanish national team athletes performed three types of bouts: No pedaling (NP), Pedaling only the Exit Ramp (PRS) and Pedaling Freely (PL) in three days and tracks of varying difficulty: High (AD), Medium (MD) and Low (BD)-randomized order, counterbalanced and with recoveries of 10 min. Our results attribute the 11.7% of lactate production to the initial acceleration (PRS; greater at higher difficulty), 65.7% to drive actions (NP), and 22.6% to the ending pedaling. The repeated measures ANOVA shows differences ( $p < 0.000$ ) in favor of PL, differences that remain when considering difficulty pedaling ( $p < 0.022$ ). The factor "difficulty", affected by the design of the track, affects the lactate production as difficulty influences the feasible "technique" in each phase.

**KEYWORDS:** lactate, BMX, track, cycling, performance.

## **INTRODUCCIÓN**

Pese a ser deporte olímpico desde los pasados JJOO de Pekín 2008, el Bicycle Moto-Cross (BMX), modalidad ciclista consistente en recorrer una pista en el menor tiempo y clasificación posible, es una disciplina relativamente joven y poco conocida. Los deportistas compiten enfrentándose en tandas de 8 corredores máximo, y van pasando eliminatorias hasta disputar una final de 8 plazas, con tiempos de recuperación entre tandas en torno a los 30 minutos (Zabala, Sánchez-Muñoz, y Gutiérrez, 2009). La pista comienza con una rampa de salida descendente de pendiente variable (Gate Start), y continua con un trazado de entre 300 y 400m (UCI, 2009) en el que se sitúan de forma estratégica obstáculos y curvas de tamaño y dificultad también variable. La carrera se inicia cuando la valla que frena a los deportistas se deja caer mediante un protocolo reglado de forma mecánica (Mateo y Zabala, 2007; Zabala, Sánchez-Muñoz, y Mateo, 2009), y se alarga hasta los 30-45 segundos - $34.66 \pm 2.39$  s tiempo medio registrado en los campeonatos internacionales oficiales 2008 (Mateo, Zabala, y Blasco-Lafarga, 2009)-. El resultado final está muy mediatizado por la calidad de los deportistas y su capacidad de adaptación al nivel de dificultad de la pista, pues la exigencia técnica y física puede variar ostensiblemente en función de la misma.

Actualmente la literatura científica sobre la disciplina es escasa. Los primeros trabajos se referían al estudio de las patologías derivadas de las caídas en competición (Brogger-Jensen, Hvass, y Bugge, 1990). En 2004 encontramos un análisis biomecánico tridimensional de la técnica de salida (Gianikellis, Bote, Pantrigo, y cols., 2004). A partir del 2006 algunos estudios

intentan simular la carrera de BMX y analizan en condiciones de laboratorio los factores mecánicos de la fase de aceleración (Bertucci, Hourde, Manolova, y cols., 2007), la influencia de variables psicológicas (Paquet, Bertucci, y Hourde, 2006) o los efectos del bicarbonato sódico (Zabala, Requena, Sánchez Muñoz y cols., 2008). Otros estudios se centran en la optimización de la técnica de salida (Mateo y Zabala, 2007) y más recientemente en los efectos de la administración de feedback sobre el rendimiento en la salida (Zabala, Sánchez-Muñoz, y Mateo, 2009). De forma general se ha dado prioridad al conocimiento de los primeros instantes de la competición (Bertucci, Hourde, Manolova y cols., 2007; Campillo, Doremus, y Hespel, 2007; Gianikellis, Bote, Pantrigo y cols., 2004; Mateo y Zabala, 2007; Paquet, Bertucci y Hourde, 2006; Zabala, Sánchez-Muñoz, y Mateo, 2009).

En cuanto a la carrera completa y a su caracterización fisiología, las exigencias en Campeonatos Europeos de BMX descritas (Zabala, Sánchez-Muñoz, y Gutiérrez, 2009) señalan concentraciones de lactato sanguíneo en entorno de los 8.55 mMol/l con registros que llegan hasta 18.6 mMol/l; y con Frecuencias Cardíacas máximas en torno al 90% de la de FC de reserva (81.55%). Estos datos, junto con los elevados valores de esfuerzo percibido (Zabala, Requena, Sánchez Muñoz y cols., 2008) y la propia duración de la prueba, llevan a considerar que la glucólisis anaeróbica es la principal responsable del rendimiento (Zabala, Sánchez-Muñoz, y Gutiérrez, 2009). Cuando esto sucede, la acidosis resultante se acompaña de una bajada del pH que reduce la capacidad para generar fuerza: la bajada del pH inhibe la troponina, dificulta el deslizamiento de la tropomiosina y con ello la formación de los puentes acto-miosínicos, responsables de la contracción muscular (García, 2003). Parece, por tanto, que los metabolitos resultantes de este breve esfuerzo de máxima intensidad pueden ser factores limitantes del rendimiento, comprometiendo la capacidad de mantener las exigencias de potencia propias del BMX.

Para analizar con más profundidad la carrera de BMX podemos descomponerla en tres fases fundamentales: la primera fase, desarrollada en la parrilla de salida, mantiene un pedaleo continuo buscando la máxima aceleración (fase cíclica); en la segunda fase se alternan acciones de impulsión sin pedaleo para afrontar los obstáculos (acciones muy técnicas, acíclicas) con otros momentos en los que se pedalea para aumentar o no perder la velocidad conseguida (cíclica); y finalmente, encontramos una tercera fase en la que el atleta trata de conseguir velocidades máximas con su pedaleo, fase completamente cíclica en la que la velocidad-resistencia, resistencia al mantenimiento de una cadencia máxima, juega un importante papel sobre el rendimiento (Mateo, Zabala y Blasco-Lafarga, 2011). Si bien la estructura trifásica se mantiene, factores como la pendiente, la distancia entre obstáculos y su altura, etc., varían mucho de unas pistas a otras, fundamentalmente en su parte central, cuyo grado de dificultad puede variar enormemente en función del diseño de los obstáculos o del propio circuito.

Parece, por tanto, que esta variabilidad en características y diseño de las pistas puede mediatizar de forma importante la citada concentración de lactato, metabolito considerado tradicionalmente como indicador útil para valorar el coste metabólico y la intensidad del esfuerzo en deportes aeróbicos-anaeróbicos, fundamentalmente en aquellos con altas exigencias de fuerza y resistencia (Blasco-Lafarga, 2009; Brooks, 2007; Gladden, 2004; López, Aznar, Fernández y cols., 2004; Martín, González, y Llop, 2007). Y aunque existe cierta controversia sobre su validez como indicador de intensidad, fundamentalmente porque refleja tanto procesos de producción como de eliminación metabólica (Blasco-Lafarga, 2008; Calderón, Benito, Peinado y cols., 2008; Gladden, 2004) parece conveniente conocer mejor qué sucede con este metabolito, y observar si existe alguna relación entre su producción y las acciones desarrolladas en la carrera (cíclicas o acíclicas) respecto a las fases que se dan en la misma y en función del nivel de dificultad de la pista.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

### *Diseño del test*

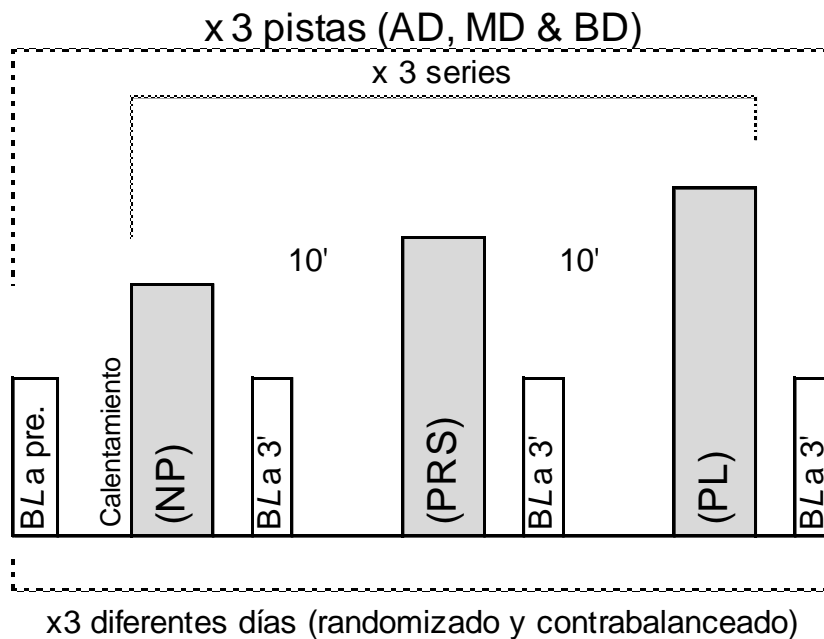
Con el objeto de recoger muestras de lactato en contexto real y analizar su posible dependencia de las técnicas aplicadas y de la dificultad de los circuitos, se diseñó un test que incluía tres tipos de prueba: 1) ejecución sin pedaleo (NP), produciendo la máxima velocidad con la única acción propulsiva de los impulsos que se realizan para superar los obstáculos o para entrar en las curvas mediante la acción de brazos y piernas; 2) ejecución pedaleando desde la valla de hasta al final de la rampa de salida (PRS), con el fin de facilitar a los atletas la máxima aceleración mediante una buena técnica de salida y potencia de pedaleo, pero impidiendo dicho pedaleo durante el resto de la pista; y 3) una carrera con pedaleo completo (PL), pedaleando libremente y sin ninguna limitación sobre las acciones realizadas en la competición. Cada día se repitieron las tres carreras, con una recuperación estandarizada de 10 min entre todas ellas, y en orden creciente, de menor a mayor esfuerzo (Figura 1) para evitar el posible efecto de la fatiga. El triple test fue realizado en tres días consecutivos, pero variando en cada día la pista de evaluación para garantizar tres niveles de dificultad técnica: 1) Pista de Alta Dificultad (AD) con una rampa de salida significativamente más alta y con mayor porcentaje de inclinación, lo que propicia una mayor aceleración en la salida, pero reduce las posibilidades para desarrollar potencias cercanas a la potencia máxima; con mayor número de obstáculos, registros en tiempos de vuelo mayores y acciones técnicas más exigentes, considerado tipo Supercross o JJOO. 2) Pista de Media Dificultad (MD), con menor inclinación y longitud de rampa de salida, pero con una distancia entre obstáculos y posibilidades de pedaleo algo mayores, considerada pista tipo Campeonato del Mundo. 3) Pista de Baja Dificultad (BD), con rampa de salida y obstáculos de menor inclinación, y más bajos requerimientos de habilidad técnica. Por tanto, con mayor posibilidad de aplicar un pedaleo intenso para conseguir el éxito, pista considerada de campeonato continental europeo.

## *Muestra*

La muestra estuvo formada por nueve atletas masculinos pertenecientes a la Selección Nacional Española [ $17\pm 1.41$  años,  $71.92\pm 7.53$  kg de peso,  $176.23\pm 4.61$  cm de altura,  $42.86\text{ kg/m}^2\pm 4.29$  de masa magra (Martin) y un porcentaje de grasa del  $11.64\pm 1.51\%$  (Faulkner)], todos ellos voluntarios. Los atletas tenían una experiencia de  $\pm 5-7$  años, semi-profesionales, con un entrenamiento en torno a 2-5 h/día. Tanto las muestras de lactato recogidas como el resto de los datos registrados durante los test se realizaron en cumplimiento de la Declaración de Helsinki, con la aprobación previa del Comité de Ética de la Universidad de Valencia, y con el consentimiento informado y firmado de todos los participantes.

## *Procedimiento*

El triple testeo se realizó durante la parte final del período de pretemporada, en una concentración del equipo nacional español, lo que aseguró que tanto los patrones de Actividad Física como las horas de sueño, descanso, etc. fueran homogéneos y estuvieran controlados con precisión. El protocolo experimental se ilustra en la Figura 1. Los sujetos, quienes eran conocedores de las tres pistas realizaron un calentamiento estandarizado de 35 min en el que de forma incremental se iban familiarizando con los esfuerzos planteados y el tipo de ensayo. Tras este calentamiento se mantuvo un período de descanso de 5 minutos, iniciando a continuación el bloque de las tres ejecuciones (NP, PRS y PL) en orden randomizado y contrabalanceado. El descanso entre carreras fue siempre de 10 minutos, de cara a garantizar una recuperación suficiente entre pruebas (figura 1). Este mismo protocolo se mantuvo en las tres pistas (AD, MD and BD).



**Figura 1.** Protocolo experimental

Las muestras de concentración de lactato sanguíneo se recogieron en el lóbulo de la oreja (Aguado, Guío de Prada, y Mora, 2004) con una toma basal inicial, y en el minuto 3 -[BLa<sub>3min</sub>]- tras cada repetición, con el analizador Lactate Pro™ (Arkay, KDK Corporation, Minami-Ku, Kyoto, Japon) (Draper, Brent, Hale, y Coleman, 2006; Mc Naughton, Thompson, Philips, Backx, y Crickmore, 2002; Pyne, Boston, Martin, y Logan, 2000; Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, van den Broek, y Spierenburg, 2008). Con el fin de controlar el pedaleo y la aplicación de potencia en los diferentes test (NP, PRS y PL), todas las carreras se realizaron con la misma bicicleta (Staats, con desarrollo 43x16T, longitud de biela 175 mm y ancho de cubierta de 1x1.75 mm), instalando en ella un medidor de potencia válido y fiable para intensidades de entre 100 y 450 (w) PowerTap SL 2.4 (CycleOps, Madison, USA) (Bertucci, Duc, Villerius y cols., 2005). Antes de todas las repeticiones los sujetos fueron informados de que en las series (NP) no podían pedalear en ningún momento, y que en las (PRS) debían dejar de hacerlo tras el término de la bajada pavimentada de la rampa de salida. Se les advirtió que si el sistema PowerTap registraba algún valor (vatios) en momentos donde no era permitido pedalear para acelerar, la repetición sería considerada nula. Los datos de potencia fueron descargados a un PC mediante el software PowerAgent v7.2. Además, se controlaron las condiciones ambientales de temperatura ( $32.72^{\circ}\pm 0.46$ ) y velocidad del viento en contra para cada día y recta de cada pista ( $1.6 \text{ km/h} \pm 0.51$ ) con un anemómetro Skywatch Xplorer 2 (JDC Electronic, Suiza).

#### *Análisis estadístico*

El diseño experimental ha permitido aislar las dos variables independientes cuyo efecto se quería estudiar sobre el ácido láctico -[BLa<sub>3min</sub>]- (variable dependiente): la variable independiente “Dificultad de la Pista”, con

sus tres niveles: AD, MD y BD; y la variable independiente “Técnica”, estudiada también en tres niveles a partir de las limitaciones o no impuestas sobre la posibilidad del pedaleo: NP, PRS y PL. Una vez comprobada la normalidad de la muestra (Shapiro-Wilk), junto a los descriptivos media y desviación estándar, se ha realizado un Análisis de Varianza de medidas repetidas (ANOVA) con el fin de comprobar si los resultados de lactato  $-[BLa_{3min}]$  muestran diferencias estadísticamente significativas en función los factores “Técnica” y “Dificultad”, estudiando también los efectos de su interacción. Cuando se ha encontrado una diferencia significativa se ha realizado una comparación por pares para observar a favor de qué grupo de valores. Junto a este análisis de varianza, el diseño nos ha permitido además, realizar una estimación del peso porcentual (%) que puede tener el lactato en función de las técnicas utilizadas y de cada fase de la carrera. Para ello se ha considerado como valor de referencia la media del valor máximo de los lactatos obtenidos por los deportistas en las carreras completas (PL), y a partir de este valor se ha establecido la estimación porcentual de la media de los lactatos obtenidos por el grupo en el resto de las pruebas (NP) y (PRS).

## RESULTADOS

### *Concentración de Lactato versus fases de la carrera y opciones de pedaleo.*

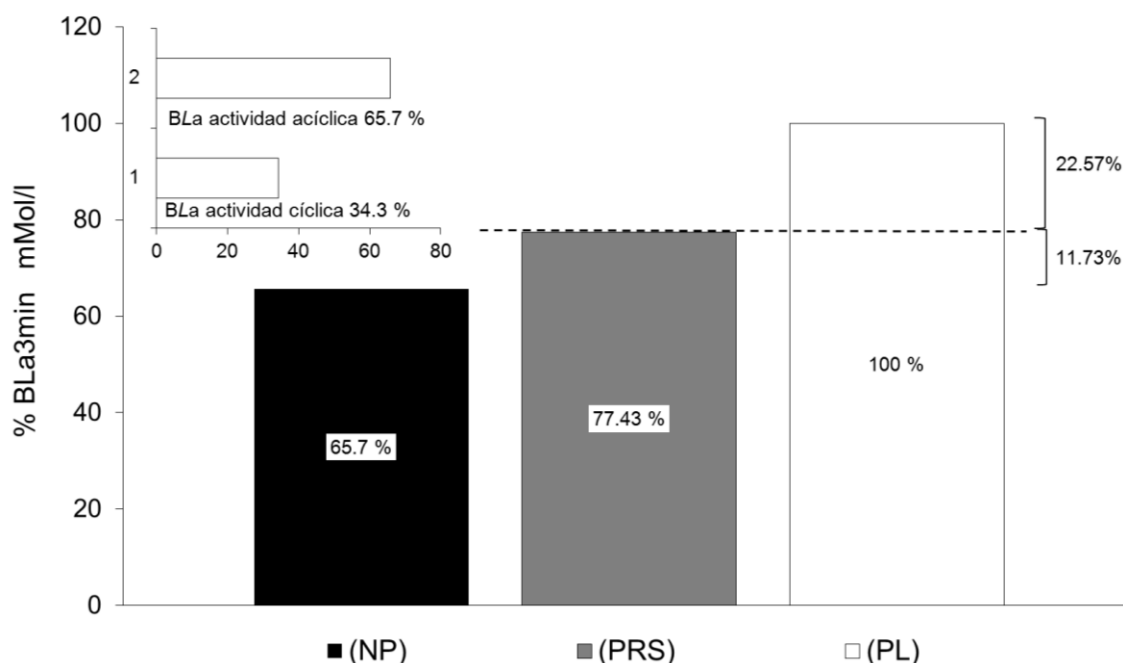
La tabla 1 recoge los descriptivos media y SD para la variable  $-[BLa_{3min}]$  registrando los valores más altos en la prueba completa PL, seguidos de PRS y NP ( $11.46 \pm 0.48$ ;  $8.87 \pm 0.74$  y  $7.53 \pm 0.63$  mMol/l respectivamente). Nuestros primeros resultados corresponden al análisis del peso porcentual de la variable lactato  $-[BLa_{3min}]$  en función de las opciones técnicas que se dan en cada fase de la carrera. Si consideramos este valor medio de  $BLa_{3min}$  PL ( $11.46 \pm 0.48$  mMol/l, tabla 1) como referencia de la ejecución completa o 100%, observamos que el 65.7% de la producción láctica  $BLa_{3min}$  PL puede atribuirse a acciones de impulsión acíclica sin participación del pedaleo ( $BLa_{3min}$  NP:  $7.53 \pm 0.63$  mMol/l; figura 2). La diferencia en la producción de lactato entre esta ejecución NP respecto de PRS nos permiten observar que cuando se pedalea para conseguir la máxima aceleración desde la valla hasta el final de la rampa pavimentada o de salida, el coste metabólico se incrementa en un 11.73%. Y finalmente, cuando las posibilidades de pedalear por toda la pista son totales y la única limitación viene dada por las capacidades de cada sujeto y el diseño de la pista, la diferencia entre  $BLa_{3min}$  PL y  $-BLa_{3min}$  PRS indica que el pedaleo cíclico de la fase final de la carrera añade el 22.57% restante. Así pues, la concentración de lactato para las acciones acíclicas corresponde al 65.7%, mientras las acciones de carácter cíclico añaden el restante 34.3%.

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos (promedio  $\pm$  SD) de los valores de concentración de BLa.

	BLa <sub>basal</sub>	BLa <sub>3min</sub> (NP)	BLa <sub>3min</sub> (PRS)	BLa <sub>3min</sub> (PL)	Promedio
Pista (AD)	1.19 $\pm$ 0.13	7.77 $\pm$ 1.64	9.51 $\pm$ 1.70	10.94 $\pm$ 1.72	9.41 $\pm$ 0.51
Pista (MD)	1.14 $\pm$ 0.10	8.00 $\pm$ 1.85	9.04 $\pm$ 2.22	11.52 $\pm$ 2.69	9.52 $\pm$ 0.68
Pista (BD)	1.19 $\pm$ 0.13	6.81 $\pm$ 1.18	8.06 $\pm$ 1.27	11.90 $\pm$ 1.68	8.92 $\pm$ 0.41
Promedio	1.17 $\pm$ 0.03	7.53 $\pm$ 0.63	8.87 $\pm$ 0.74	11.46 $\pm$ 0.48	9.28 $\pm$ 0.50

AD = Alta dificultad; MD = Media dificultad; BD = Baja dificultad; NP = No pedaleo; PRS = Pedaleo rampa de salida; PL = Pedaleo libre. BLa<sub>3min</sub> y BLa<sub>basal</sub> = Concentración de lactato a los tres minutos del esfuerzo y basal.

En cuanto a los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas, las diferencias entre medias muestran la máxima significación respecto la variable técnica (pedaleo;  $p < 0.000$ ; figura 3), significación que se mantiene cuando se analiza la interacción Pedaleo\*Dificultad de la pista ( $p = 0.022$ ). La comparación por pares posterior muestra  $p < 0,000$  entre BLa<sub>3min</sub> PL y BLa<sub>3min</sub> PRS; y también respecto a BLa<sub>3min</sub> NP, con una diferencia entre medias de 2.59 y 3.93 mMol/l respectivamente. Cuando comparamos BLa<sub>3min</sub> PRS y BLa<sub>3min</sub> NP encontramos  $p < 0.001$ , con una diferencia entre medias de 1.34 mMol/l.



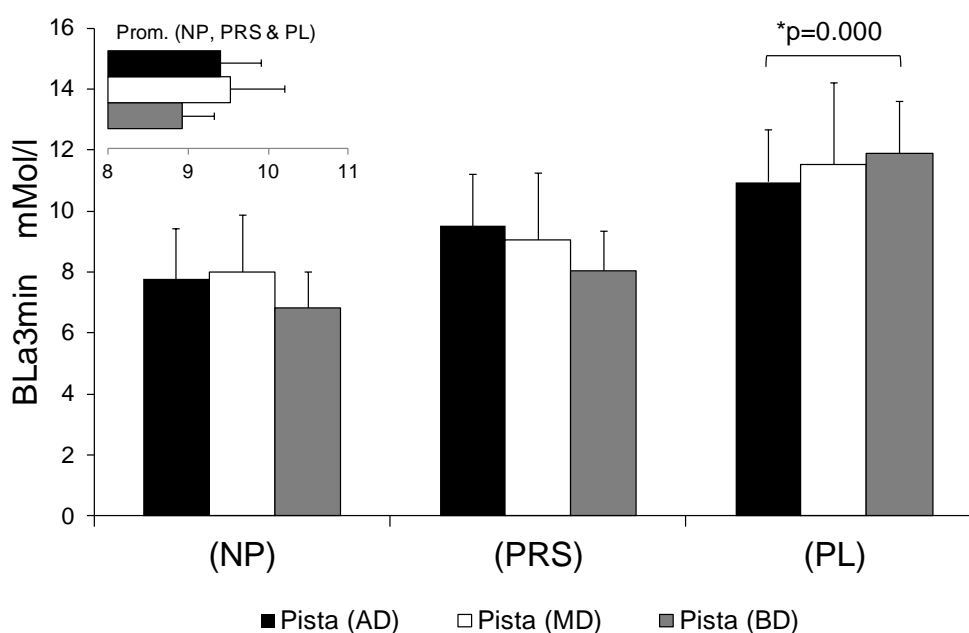
**Figura 2.** Diferencias en la concentración de Lactato en relación al tipo de esfuerzo desarrollado en la carrera de BMX.

### Concentración de Lactato versus dificultad de la pista.

La tabla 1 recoge los descriptivos media y desviación para la variable - [BLa<sub>3min</sub>]- registrando los valores más altos en la pista de MD (9.52 $\pm$ 0.68), seguidos de AD (9.41 $\pm$ 0.51) y BD (8.92 $\pm$ 0.41 mMol/l). Sin embargo, en este



análisis observamos que cuando la ejecución corresponde a NP y la dificultad de la pista es AD la concentración de lactato pese a ser alta, no es la mayor ( $BLa_{3min}AD-NP: 7.77\pm 1.64$ ;  $BLa_{3min}MD-NP: 8.00\pm 1.85$ ; y  $BLa_{3min}BD-NP: 6.81\pm 1.18$  mMol/l). Pero cuando se introduce el pedaleo (PRS), la concentración de lactato sí es mayor cuanto mayor es la dificultad de la pista ( $BLa_{3min}PRS-AD: 9.51\pm 1.7$ ;  $BLa_{3min}PRS-MD: 9.04\pm 2.22$  y  $BLa_{3min}PRS-BD: 8.06\pm 1.27$  mMol/l). Esta tendencia se invierte al referirnos a la ejecución completa (PL), con concentraciones de lactato que aumentan a medida que se reduce la dificultad de la pista ( $BLa_{3min}PL-AD: 10.94\pm 1.72$ ;  $BLa_{3min}PL-MD: 11.52\pm 2.69$ ; y  $BLa_{3min}PL-BD: 11.90\pm 1.68$  mMol/l). A pesar de la tendencia, los resultados del análisis de la varianza de medidas repetidas no han alcanzado significación estadística para el test tipo NP y PRS ( $p\leq 0.167$ ), pero sí para PL entre los tres diferentes niveles de dificultad ( $p=0.000$ ).



**Figura 3.** Determinación de la producción de lactato en relación a los factores técnicos analizados en los tres diferentes niveles de dificultad técnica de las pistas.

### *Potencia media versus dificultad de la pista*

Los datos de potencia media presentados en este estudio (tabla 2) han servido como elemento de control sobre la corrección en la ejecución de los test, como referencia de la carga externa o intensidad realizada, y para ajustar mejor el significado de las lactacidemias resultantes. Como se observa, la aplicación de potencia media (PM) aumenta a medida que disminuye la dificultad de la pista ( $PM-AD=232.16\pm 38.09$  w;  $PM-MD=372.36\pm 44.59$  w;  $PM-BD=388.73\pm 29.79$  w), mostrando diferencias estadísticamente muy significativas en función de la dificultad del circuito ( $P < 0.000$ ;  $0.009$ ) a favor de las pistas más fáciles. En cuanto al estudio de las Correlaciones de Pearson entre lactacidemias y PM para cada condición experimental de dificultad, tan sólo encontramos una correlación significativa ( $r_p=0.74$ ;  $p=0.020$ ) entre la PM

desarrollada y el nivel de lactacidemia alcanzada en la condición experimental BD, ejecución en la que el lactato y la potencia son máximos.

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos (media  $\pm$  SD) de la potencia registrada en función de la dificultad técnica de la pista para la carrera (PL).

	Pista (AD)	Pista (MD)	Pista (BD)	Promedio
Prom. potencia (vatios)	232.16 $\pm$ 38.09	372.36 $\pm$ 44.59	388.73 $\pm$ 29.79	331.07 $\pm$ 86.09

AD = Alta dificultad; MD = Media dificultad; BD = Baja dificultad

## DISCUSIÓN

En primer lugar, señalamos que los resultados de este trabajo se encuentran en línea de los valores presentados por otros autores. Se confirma así que el BMX es una disciplina ciclista anaeróbica en la que se genera ácido láctico (Zabala, Sánchez-Muñoz, y Gutiérrez, 2009), posiblemente en respuesta a la activación de la glucogenolisis como alternativa metabólica cuando el ejercicio es muy intenso y de corta duración (Gladgen, 2000; Roef, de Meer, Kalhan y cols., 2003); actuando como sustrato energético de gran calidad (Brooks, 2000) y protector contra la fatiga (Nielsen, de Paoli y Overgaard, 2001). Nuestros resultados son algo mayores que los valores promedio registrados en competiciones oficiales de Campeonato de Europa, con promedios en torno a los 8.55 $\pm$ 3.74 mMol/l, y valores extremos de hasta 18 mMol/l (máximo 18.6 mMol/l), aunque estos autores no encuentran diferencias significativas entre series (Zabala, Sánchez-Muñoz, y Gutiérrez, 2009). Pese a que los estudios en condiciones de laboratorio no son tan específicos, otros trabajos que han valorado las lactacidemias en atletas de BMX mediante test de Wingate (Zabala, Requena, Sánchez-Muñoz y cols., 2008) sí muestran valores similares a los del presente estudio (11.12 $\pm$ 1.19 mMol/l). Incluso algún trabajo sugiere la suplementación con bicarbonato sódico, coincidiendo con esta visión glucolítica láctica de la modalidad (García, 2003; Zabala, Requena, Sánchez-Muñoz y cols., 2008).

En cuanto al análisis del peso porcentual del lactato en función de las opciones técnicas empleadas NP, PRS y PL y su relación con las fases de la carrera, nuestros resultados señalan que la aplicación de fuerza en las acciones de re-equilibrio e impulsión de carácter acíclico que sustentan la carrera, aún sin ningún pedaleo, es suficiente para producir grandes cantidades de lactato (hasta el 65.7%). Estos resultados nos permiten estimar un perfil en el comportamiento del metabolito para cada fase de la carrera y de ello inferir lo que suponen las acciones cíclicas sobre el continuo de acciones acíclicas, altamente específicas de la modalidad. Según nuestro análisis, a pesar de su corta duración, la fase inicial de salida incrementa la producción láctica en un 11.73%, con mayor peso cuanto mayor la dificultad de la pista, y por tanto la inclinación de la rampa. Este aumento en la producción de lactato puede cobrar importancia en función del tipo de carrera que pretendamos preparar o disputar, ya que dicha inclinación, longitud y tiempo de esfuerzo en la rampa de salida varía en función del nivel de dificultad de la pista (Mateo y col., 2009), mediatizando las posibilidades del atleta de poder desarrollar porcentajes

mayores o menores de potencia relativa a su potencia máxima. La fase central que le sigue es la más larga de la carrera y se sustenta fundamentalmente sobre las citadas acciones coordinativas acíclicas, de ahí el alto porcentaje láctico incluso en la condición experimental sin pedaleo (NP). Finalmente la carrera termina con una fase de mantenimiento de la velocidad conseguida en la fase anterior, fase que vuelve a basarse en un pedaleo máximo, lo que incrementa hasta el 22.57% del lactato restante, aunque en este caso la tendencia se invierte, siendo mayor la producción láctica cuanto más fácil es la pista. Esta mayor producción láctica en las pistas más fáciles puede ser determinante, ya que en las últimas rectas de la pista, momento en que las posibilidades de pedaleo son máximas, el bloqueo muscular que le sigue puede convertirse en un factor limitante del rendimiento.

La existencia de este perfil y su significado se refuerzan con el análisis detallado de cada condición experimental, pues aunque no se alcanza la significación estadística al considerar sólo la variable Dificultad, sí encontramos diferencias significativas cuando al considerar la interacción Dificultad\*Pedaleo ( $p=0,022$ ). Vemos así que el lactato NP es más alto en las pistas media dificultad técnica ( $BLa_{3min}NP-AD: 7.77\pm 1.64$ ;  $BLa_{3min}NP-MD: 8.00\pm 1.85$ ;  $BLa_{3min}NP-BD = 6.81\pm 1.18$  mMol/l), probablemente debido a que su diseño plantea un relación óptima entre el número de obstáculos, porcentajes de inclinación de las rampas y distancia entre obstáculos. Esta tendencia se modifica cuando se permite pedalear en la rampa de salida ( $PRS-AD = 9.51\pm 1.70$ ;  $PRS-MD = 9.04\pm 2.22$ ;  $PRS-BD = 8.06\pm 1.27$  mMol/l) a favor de las pistas de AD. Finalmente, cuando se permite el pedaleo libre, los valores invierten la dinámica de concentración láctica a favor de las pistas de menor dificultad ( $PL-AD = 10.94\pm 1.72$ ;  $PL-MD = 11.52\pm 2.69$ ;  $PL-BD = 11.90 \pm 1.68$  mMol/l), constatando que dicha menor dificultad reduce las exigencias neuromusculares de equilibrio e impulsión y aumenta las metabólicas porque permite un mayor pedaleo para alcanzar y mantener la máxima velocidad.

Parece por tanto, que el control de la producción de lactato es un factor importante que debe ser atendido y analizado, sin subestimar la fatiga metabólica que suponen series de entrenamiento técnico, salidas, etc., aparentemente menos exigentes, pues se observa que las concentraciones de lactato son significativamente más altas en las pistas fáciles, cuando las posibilidades del contexto nos permiten realizar la prueba de una forma “más cíclica”. La menor dificultad de los obstáculos y el que haya más tiempo entre ellos facilita una mayor posibilidad de pedaleo, disminuyendo las posibilidades de reutilizar el lactato aeróbicamente. Los registros de potencia media, son mayores cuanto más fácil es la pista y la correlación entre lactato y potencia media en estas pistas ( $r_p=0.74$ ;  $p=0.020$ ) apoya este razonamiento. Por el contrario, en las pistas más difíciles disminuyen los valores de potencia y la producción de lactato para la ejecución completa (PL). Mientras que los valores de lactato son más altos en la ejecución PRS cuando mayor es el nivel técnico de la pista. Ello confirma que la importancia de aplicar valores altos de fuerza es mayor para acelerar en la primera fase, pero que la mayor dificultad de los

obstáculos y la disminución en el tiempo entre ellos reducen las opciones para pedalear de forma continua.

Estos datos demuestran que los componentes de la habilidad, destreza técnica y fuerza aplicada en las acciones acíclicas son más determinantes cuando aumenta el nivel técnico (pistas más difíciles), mientras los componentes de fuerza cíclica y tolerancia láctica cobran mayor importancia cuando el nivel técnico es menor. De esta forma, las pistas más difíciles reducen el condicionante metabólico, mientras que las pistas de menor dificultad lo aumentan, lo que supondría que aquellos sujetos con una menor tolerancia láctica podrían ver limitadas sus posibilidades de éxito, aún con altas capacidades coordinativas y de fuerza.

El conocimiento de estas referencias metabólicas debiera conducirnos a ajustar la carga de trabajo de resistencia específica en la prescripción del entrenamiento, teniendo en cuenta el tipo de campeonato que pretendamos preparar, pues como se muestra en otros trabajos (Mateo y col., 2009) las diferencias de los requerimientos técnicos, aplicación de fuerza y tiempos de esfuerzo en la rampa de salida, primera recta y pista completa de una pista de BMX en el continente europeo (BD) difieren significativamente de los diseños de pruebas de los campeonatos mundiales (MD) y del modelo de pista de las Copas del Mundo (AD), siendo además este último el modelo de trazado adoptado por la UCI para la disputa de los JJ.OO. Ello nos obliga a tener que estudiar de forma precisa e individualizada la carga a desarrollar por los atletas en la carrera de BMX en función de la pista donde se desarrolle la competición, cobrando una gran importancia el conocimiento de las medidas y proporciones de las pistas en las que vayamos a competir en la prescripción del entrenamiento.

## **CONCLUSIONES**

Según los resultados, las concentraciones metabólicas de lactato y la forma de aplicar la potencia son dependientes del nivel de dificultad de la pistas. Este aspecto condiciona las posibilidades técnico-tácticas de los deportistas, tanto en gestos de carácter cíclico como acíclico. El peso en la producción de lactato sanguíneo en la carrera de BMX se sustenta con las acciones de carácter acíclico, aunque la fase de aceleración inicial y la fase final añaden una carga importante que debe ser considerado de forma precisa en las sesiones de entrenamiento. La concentración de lactato en las acciones acíclicas tiende a ser mayor cuando las pistas son de mayor dificultad técnica, mientras que decrece cuando el nivel técnico es menor. De igual manera, las concentraciones lácticas registradas para las acciones cíclicas también son dependientes del nivel de dificultad pero en sentido inverso. Las exigencias lácticas y la producción de potencia cíclica siguen la misma tendencia, disminuyendo en los circuitos más difíciles y por tanto más técnicos, y aumentando en los menos exigentes. A partir de estos resultados, podemos concluir que los entrenadores deben estudiar en profundidad los diseños de aquellas pistas en las que van a competir en cada momento, modificando la

orientación del entrenamiento y su planificación en función del tipo de competición y de las características de la pista.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, R., Guío de Prada, M. V., y Mora, R. (2004). Influencia del lugar del muestreo (dedo-vena) en los resultados de un test de lactato. *Archivos de Medicina del Deporte*, 95, 221-228.
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J. N., y Grappe, F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM Device. *Int J Sports Med*, 26(10), 868-873.
- Bertucci, W., Hourde, C., Manolova, A., y Vettoretti, F. (2007). Mechanical performance factors of the BMX acceleration phase in trained riders. *Science & Sports*, 22(3-4), 179-181.
- Blasco-Lafarga, C. (2009). Propuesta y resultados de una evaluación condicional específica para el entrenamiento de Judo: la batería blasco aplicada en judokas españoles. Universidad de Valencia, Valencia.
- Brogger-Jensen, T., Hvass, I., y Bugge, S. (1990). Injuries at the BMX Cycling European Championship, 1989. *Br J Sports Med*, 24(4), 269-270.
- Brooks, G. A. (2000). Intra- and extra-cellular lactate shuttles. *Med Sci Sports Exerc* 32:790-799.
- Brooks, G. A. (2007). Lactate: link between glycolytic and oxidative metabolism. *Sports Med*, 37(4-5), 341-343.
- Calderón, F., Benito, P., Peinado, A., y Díaz, V. (2008). Significado fisiológico de la transición aeróbica-anaeróbica. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(32), 321-337.
- Campillo, P., Doremus, T., y Hespel, J. M. (2007). Pedaling analysis in BMX by telemetric collection of mechanic variables. *Brazilian Journal of Biomotricity*, v. 1, n. 2, p. 15-27.
- Draper, N., Brent, S., Hale, B., y Coleman, I. (2006). The influence of sampling site and assay method on lactate concentration in response to rock climbing. *Eur J Appl Physiol*, 98(4), 363-372.
- García Caicoya, A. M. (2003). Efectos del bicarbonato sódico sobre la acidosis láctica y el rendimiento en pruebas sucesivas de 300 m. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* 3(10), 112-124
- Gianikellis, K., Bote, A., Pantrigo, J. J., y Tena, J. A. (2004). Analisis biomecánico de la salida en la carrera de BMX [Biomechanical Analysis of the gate start in BMX race]. Third Congress Of the Spanish Association of Sports Sciences. University of Valencia (Spain). CD-Rom (In spanish: English abstract).
- Gladden L. B. (2000). Muscle as a consumer of lactate. *Med Sci Sports Exerc* 32:764-771.
- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol*, 558(Pt 1), 5-30.
- López, J., Aznar, S., Fernández, A., López, L. M., Lucía, A., y Pérez, M. (2004). Transición Aeróbica-Anaeróbica. Concepto, metodología de determinación y aplicaciones. Galapagar, Madrid: Editorial Master Line Prodigio.

- Martín, A. M., González, C., y Llop, F. (2007). Presente y futuro del ácido láctico. *Archivos de Medicina del Deporte*, 24(120), 270-284.
- Mateo, M., y Zabala, M. (2007). Optimización del rendimiento en la salida ciclista de BMX mediante la técnica slingshot [Improvement of performance of BMX cycling gate start by using slingshot technique]. *Lecturas: EF y Deportes*, 111(Available from URL: <http://www.efdeportes.com/efd111/optimizaciondelrendimiento-en-la-salida-ciclista-de-bmx.htm>). (In Spanish:English abstract).
- Mateo M, Blasco-Lafarga C, Zabala M (2011). Pedaling power and speed production vs. technical factors and track difficulty in bicycle motocross cycling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3248-3256
- Mateo, M., Zabala, M., y Blasco-Lafarga, C. (2009). Comparative study of the technical requirements of a Continental, World and Olympic BMX track in the BMX cycling discipline. *Submitted*.
- Mc Naughton, L. R., Thompson, D., Philips, G., Backx, K., y Crickmore, L. (2002). A comparison of the lactate Pro, Accusport, Analox GM7 and Kodak Ektachem lactate analysers in normal, hot and humid conditions. *Int J Sports Med*, 23(2), 130-135.
- Nielsen, O. B., de Paoli, F. y Overgaard, K. (2001). Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. *J Physiol* 536:161-6.
- Paquet, Y., Bertucci, W., y Hourde, C. (2006). Relationship between psychological variables to the performance in Wingate test for BMX drivers. *Science & Sports*, 21(5), 297-299.
- Pyne, D. B., Boston, T., Martin, D. T., y Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol*, 82(1-2), 112-116.
- Roef, M. J., de Meer, K., Kalhan, S. C., Straver, H., Berger, R. y Reijngoud, D. J. (2003). Gluconeogenesis in humans with hyperlactatemia during low-intensity exercise. *Am J Physiol* 284:E1162-E1171.
- Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M., van den Broek, E. T., y Spierenburg, A. J. (2008). Evaluation of the usefulness of the portable device Lactate Pro for measurement of lactate concentrations in equine whole blood. *J Vet Diagn Invest*, 20(1), 83-85.
- UCI (2009). UCI Cycling Regulations. In: Part VI: BMX Rule Book. Ed. UCI. 9-E0108-6.1.027.
- Zabala, M., Requena, B., Sanchez-Muñoz, C., Gonzalez-Badillo, J. J., Garcia, I., Oopik, V. y col. (2008). Effects of Sodium Bicarbonate Ingestion on Performance and Perceptual Responses in a Laboratory-Simulated BMX Cycling Qualification Series. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1645-1653.
- Zabala, M., Sánchez-Muñoz, C., y Gutiérrez, A. (2009). [BMX cycling discipline] La especialidad ciclista de BMX. In: *Nexus Médica*, Madrid: Spanish Federation of Sports Medicine.
- Zabala, M., Sánchez-Muñoz, C., y Mateo, M. (2009). Effects of the administration of feedback on performance of the BMX cycling start. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(3), 393-400.

**Referencias totales / Total references:** 24 (100 %)

**Referencias propias de la revista / Journal's own references:** 2 (8,33 %)

