

Caso Clínico

Inteligencia artificial en la evaluación ergométrica del deportista de rendimiento, nuevos conceptos para una vieja práctica: el ejemplo en un caso

Artificial intelligence in the ergometric evaluation of high-performance athlete; new concepts for an old practice: an example in a case

Alejandro Vilchez¹, Mariano M. Luna², Gabriela Renaudo³, Iver Pistoia⁴, Luciano Lopícolo⁵.

1 Hospital Italiano de La Plata/ CEMMDE La Plata. Comité de Cardiología del Ejercicio FAC. 2 Centro Médico de Especialidades. Hospital de 25 de Mayo. Hospital San Juan. 3 Centro de Alto Rendimiento Deportivo. Agencia Córdoba Deportes. 4 Hospital Córdoba. Comité de Cardiología del Ejercicio FAC. 5 Hospital Provincial San Carlos de Casilda. Instituto de Salud y Prevención Cardiovascular ISAPREC S.R.L. Casilda. Comité de Cardiología del Ejercicio FAC

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 23 de Marzo de 2023

Aceptado después de revisión

el 11 de Mayo de 2023

www.revistafac.org.ar

Los autores declaran no tener
conflicto de intereses

Palabras clave:

Bloqueo Atrioventricular,
Infarto del Miocardio sin Elevación
del ST,
Angioplastia.

Keywords:

Ergometry, athletes,
VO2max, lactate threshold,
WKO5.

RESUMEN

La ergometría (E) sigue siendo el eje en la evaluación de la patología cardiorrespiratoria y el rendimiento deportivo. El consumo de oxígeno (VO2max) y el test de lactato son los métodos más exactos para medición de capacidad cardiorrespiratoria y metabólica en la evaluación deportiva. En los últimos años los programas de análisis y predicción, basados en modelos matemáticos, han generado gran interés en el seguimiento y programación del entrenamiento.

Objetivos: Evaluar el rendimiento de un deportista mediante ciclo-ergometría midiendo VO2max, test de lactato y confrontarlos con los predichos por un programa de análisis de datos WKO5.

Material y métodos: Un triatleta de 47 años fue evaluado en el pre-congreso FAC 2022 con ergometría en rodillo electromagnético, sobre el cual se montó la bicicleta del deportista. La resistencia aumenta automáticamente mediante un sistema electromagnético conectado inalámbricamente a una PC. Para la predicción de resultados se cargaron al WKO5 todos los archivos de entrenamientos y competencias de los últimos 90 días.

Resultados: Fueron 6 etapas completas. Un VO2max 64 ml/k/min, 275w y 179lat/min. El umbral lo tuvo a un VO2 de 54ml/k/min, 245w, y 171 lat/min. El test de lactato midió el umbral a 245w y 171 lat/min. El programa predijo que el VO2max sería de 63ml/k/min, su potencia al VO2max de 299w, el umbral a 237w y FC de 165-171lat/min.

Conclusiones: La ergometría con análisis de gases, test de lactato y predicción informática, coincidieron en los resultados, por lo que podrían utilizarse indistintamente para la evaluación y planificación de entrenamiento.

Artificial intelligence in the ergometric evaluation of high-performance athlete; new concepts for an old practice: an example in a case

ABSTRACT

Ergometry (E) remains the axis in the evaluation of cardiorespiratory pathology and sports performance. Cardiopulmonary (VO2max) and lactate testing are the most accurate methods for measuring cardiorespiratory and metabolic fitness in sports evaluation. In recent years, analysis and prediction programs, based on mathematical models, have generated great interest in monitoring and programming training.

Objectives: To evaluate the performance of an athlete by cycle ergometry measuring VO2max, lactate test and to compare them with those predicted by a WKO5 data analysis program.

Materials and methods: A 47-year-old triathlete was evaluated at the FAC 2022 pre-conference event with a smart bike trainer stand, on which the athlete's bicycle was mounted. The resistance increases automatically by an electromagnetic system connected wirelessly to a PC. For the prediction of results, all the training and competition files of the last 90 days were uploaded to the WKO5 software.

Results. There were 6 complete stages. A VO₂max 64 ml/k/min, 275 w and 179 bpm. The threshold was at a VO₂ of 54 ml/k/min, 245 w, and 171 bpm. The lactate test measured the threshold at 245 w and 171 bpm. The program predicted that VO₂max would be 63ml/k/min, its power at VO₂max at 299 w, the threshold at 237 w and HR at 165-171 bpm.

Conclusions. Ergometry with gas analysis, lactate test and computer prediction coincided in the results, so they could be used interchangeably for evaluation and training planning.

INTRODUCCIÓN

La actividad física y capacidad de esfuerzo han demostrado ser un factor pronóstico independiente de eventos cardiovasculares y mortalidad^{1,2}. En este aspecto la capacidad física es además un factor corrector y reestratificador del pronóstico en personas con diferentes factores de riesgo^{3,4}. La medición de la capacidad de esfuerzo mediante el uso de la ergometría (E) tiene extrema importancia ya que en la fidelidad de los resultados se basan los conceptos previos. La técnica correcta y estandarización de la metodología son detalles que no tienen que ser pasados por alto⁵. Por este motivo, es importante verificar una correcta posición del paciente, o mejor aún, realizar la prueba en la misma bicicleta del deportista. Si bien en su origen la E se fundamentó en el diagnóstico de la enfermedad coronaria, hoy en día son múltiples las aplicaciones en poblaciones con y sin patología. Debido a esto, existe un baremo de estandarización histórico de referencia para la población general^{5,6,7,8}.

En una E para deportistas, se obtienen datos que orientan al entrenador sobre el rendimiento: VO₂max, umbrales, potencia máxima, media, frecuencia cardiaca, cadencia óptima, etc. Se conforma así un perfil de potencia o rendimiento. La relación potencia/duración representa un enfoque integrador de los límites del ejercicio en humanos, eje del éxito en los resultados deportivos⁹.

En muchas ocasiones no se cuenta con analizador de gases ya que los elevados costos impiden el acceso a esta tecnología. En estos casos, podrá ser de utilidad la medición de lactato capilar o estimar con bastante precisión mediante fórmulas y modelos matemáticos de programas de análisis^{9,10,11,12,13,14}. Además de la prueba incremental máxima o sub máxima es necesario realizar test de esfuerzos máximos en tiempos específicos como 15-30seg, 1-3min, 5min y 20min. De esta forma, se obtienen los máximos reales para cada segmento de tiempo y configurar de esta manera la curva de potencia/tiempo. Estos últimos datos son de suma utilidad, ya que todas las sesiones de entrenamiento están guiadas por este parámetro en vatios/tiempo. Al menos con dos valores se puede matemáticamente estimar el resto de la curva^{9,11,12}. Este modelo de dos parámetros modela una curva hiperbólica entre la potencia y el tiempo. La potencia crítica (CP) (que es la producción máxima de potencia teórica que un individuo puede sostener indefinidamente) y la constante de curvatura denotada por W' (cantidad de trabajo que se puede realizar por encima de la CP) (Figura 1)^{9,12}. Vale decir que existen métodos de análisis directos o de predicción que pueden ser utilizados para la evaluación deportiva. Debido a la necesidad de aportar

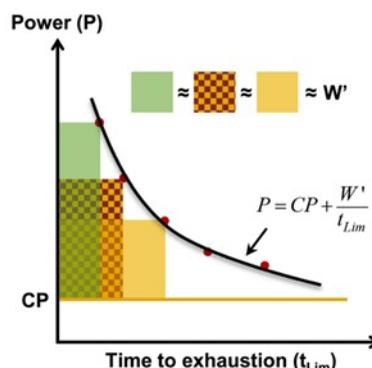


FIGURA 1.

Gráfico potencia/tiempo de dos parámetros, se puede visualizar una relación hiperbólica entre la P y el tiempo t. En tiempos más cortos la potencia es mayor, a tiempos más largos la potencia tiende a un valor igual a la potencia crítica (CP). Por encima de la CP y por debajo de la curva queda graficada la capacidad de esfuerzo anaeróbica W', que como se ve tiene una duración limitada acorde al tiempo o la potencia que se desarrolle por encima de la CP¹².

información más allá de la salud cardiovascular, y viendo que existe una tecnología aplicable en la evaluación de ciertos deportistas, se realiza este estudio de teoría y práctica ergométrica. Se analizaron los resultados de los tres métodos a fines comparativos.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el marco del XXXIX Congreso Nacional de Cardiología, se llevó a cabo el pre-congreso, en el estadio MA Kempes, sede de la Agencia Córdoba Deportes.

Allí con el grupo de Cardiología del ejercicio (FAC) entre otras actividades, se evaluó a un deportista de 47 años de edad (61kg de peso, 1,70m de altura), triatleta competitivo máster. Se lo evaluó en su bicicleta de triatlón, una Pinarello Graal time trial Carbon, la cual se montó en un rodillo electromagnético interactivo, marca Elite modelo Suito. Se retiró su rueda trasera y se la montó sobre el sistema de transmisión del equipo provisto de un piñón de similares características al de la rueda. Las palancas de la bicicleta eran de 175mm con platos ovalados. Los pedales utilizados fueron Favero Assioma Uno, con medición de potencia. El rodillo va modificando la resistencia mediante un freno electromagnético acorde al protocolo establecido que le ordena a la computadora a la cual se conecta mediante un programa, vinculado por tecnología ANT+. El deportista podía elegir la cadencia de pedaleo más cómoda ya que el rodillo automáticamente modificaba la resistencia

TABLA 1.

VO₂ máximo y test de lactato

ETAPA	TIEMPO	CARGA W	F CARD	VO ₂	Zona
1	3min	122	114	29 ml/k/min	AER-REG
2	6min	153	129	35 ml/k/min	AER
3	9min	183	147	42 ml/k/min	
4	12min	214	160	51 ml/k/min	UMBRAL
5	15min	245	171	57 ml/k/min	
6	17min	275	179	64 ml/k/min	VO ₂ MAX
7	17:45sec	305	184	70 ml/k/min	
8	REC 1min		157	32 ml/k/min	

para mantener la potencia establecida en la etapa. Se utilizó el programa Zwift, el cual es una aplicación que permite al deportista vinculado con este tipo de dispositivos recorrer diferentes lugares prediseñados dentro de una plataforma de realidad virtual. Este tipo de programas al igual que otros similares, se conectan a la web y permiten la interacción con otros deportistas que también se encuentren en el recorrido. El programa estimaba la velocidad en base a los vatios por Kg de peso que el deportista producía al pedalear, también tenía en cuenta la pendiente del terreno e incluso las características de la bicicleta y demás equipamiento virtual. Para este caso, se diseñó un protocolo especial en etapas de 3 minutos con incrementos de 30w, a fin de poder medir VO₂ y lactato (Tabla 1)¹⁵. Para poder medir lactato se necesitaban etapas de al menos 3-5min para que exista tiempo en el que el ácido láctico pase a la sangre y al capilar para ser detectado. En la pantalla de la PC se pudieron ver todos los parámetros instantáneos, frecuencia cardiaca, Vatios, RPM, distancia recorrida y por recorrer, velocidad, pendiente, etc. Para monitoreo electrocardiográfico, se utilizó un software de ergometría marca EccoSur de 12 derivaciones. Para monitoreo de la FC se utilizó una Banda Cardíaca Garmin Hrm-dual Ant+ y Bluetooth vinculado a la PC y a una ciclocomputadora modelo Garmin 820, en la cual el deportista pudo ir viendo sus datos instantáneos. En la ciclocomputadora se habilitaron campos de frecuencia cardiaca, vatios, RPM y tiempo.

Se utilizaron tres métodos comparativos para la evaluación en el rendimiento, cada uno de los cuales fue realizado por un médico: 1. Test de Vo₂ directo con un equipo analizador de gases Cosmed Fitmate PRO; 2. Test de lactato, para lo que se utilizó un equipo Lactate plus de nova biomedical con muestras seriadas por punción de lóbulo de la oreja al final de cada etapa; 3. Estimación indirecta mediante el programa WKO5. Este programa es un gestor de información al que se le cargaron todos los entrenamientos y competencias que el deportista ha realizado en los últimos 90 días, además de la prueba del presente estudio. Estos datos fueron registrados por sensores que el deportista utilizó en sus entrenamientos: frecuencia cardiaca, potencia, GPS, acelerómetros etc. Finalizados los entrenamientos estos dis-

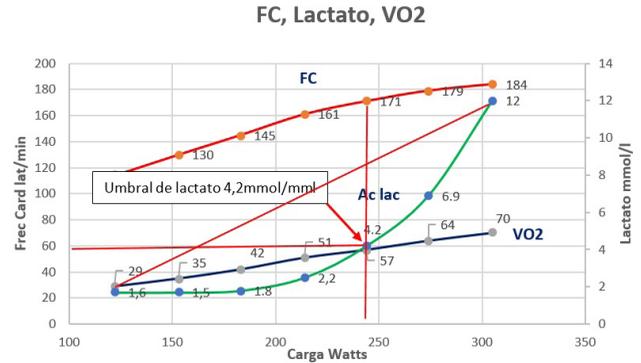


FIGURA 2.

En Verde curva de lactato, en rojo curva de frecuencia cardiaca, en negro consumo de O₂

positivos almacenan automáticamente todos los datos en una cuenta en la nube, en este caso de Garmin. Desde allí se descargan de forma automática al programa en la ficha del deportista. De esta manera se configura un perfil de valores para ese deportista.

En base a una big-data proveniente de todos los registros de personas que realizaron actividades en el mundo de diferentes niveles deportivos, y cargaron sus datos en esta plataforma. Esto permite realizar comparaciones de diferentes poblaciones, medias y baremos para predecir el comportamiento del perfil fisiológico humano. El programa puede confeccionar una curva de potencia/tiempo con los mejores registros en cada una de las duraciones (MMP). Esto es de utilidad, ya que permite obviar los testeos como se mencionó anteriormente, lo cual acelera los procesos diagnósticos.

RESULTADOS

La duración del test fue de 19 minutos. El estudio se dió por terminado cuando el deportista no pudo sostener la carga a una cadencia superior a 60RPM. En este caso pudo completar totalmente la 6ta etapa de 275w, e hizo 60 segundos de la 7ma etapa de 305w. El Peak Power Output, PPO (potencia más alta sostenida al menos por 30seg), fue de 305w, 5W/Kg expresado a la masa corporal. La cadencia media fue de 75, con una máxima de 92 y mínima de 59RPM. La FC máxima alcanzada fue de 184lat/min, la media de 149 y la mínima de 109lat/min al inicio.

1- El Vo₂ máximo alcanzado fue de 64ml/k/min a una carga de 275w y una FC de 179 lat/min. El pico fue de 70 ml/k/min con una potencia de 305w (PPO) y una FC máxima de 184lat/min. El Umbral fue a 56ml/k/min (87% del máximo), a una potencia de 245w (89% de la máxima) y una FC de 171 (95% de la máxima), según se muestra en la tabla 1 y figura 2.

2- En el test de lactato, el umbral se produjo a los 4,2mmol a la carga de 245w y una FC de 171 lat/min, correspondiente a la 5 etapa, como lo muestra la tabla 1 y figura 2.

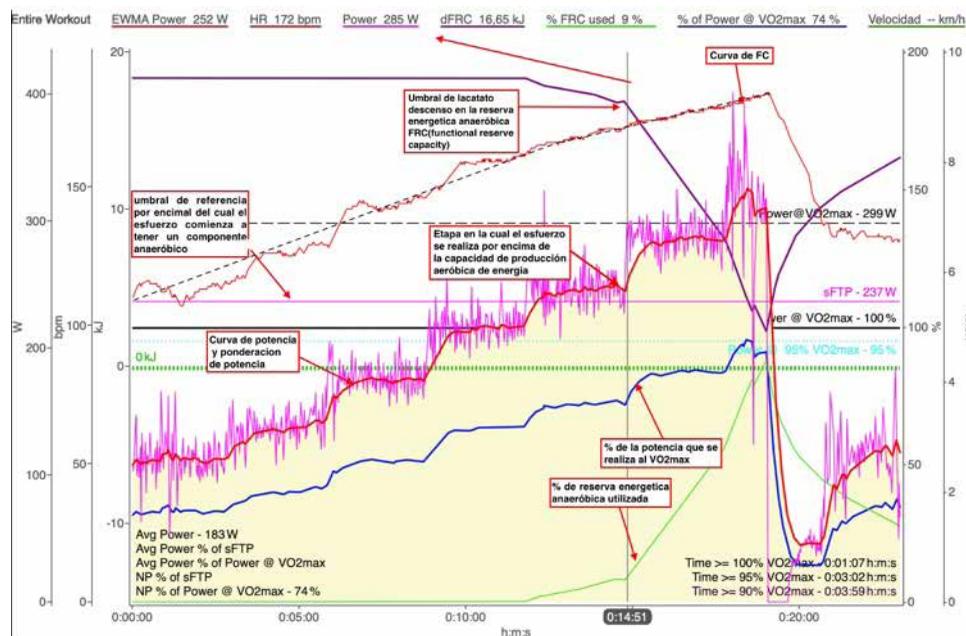


FIGURA 3.

En el gráfico puede apreciarse la evolución en el tiempo de las diferentes variables de interés. En rojo frecuencia cardiaca, en fucsia la potencia instantánea, y en rojo grueso EWMA power expresada como medias móviles ponderadas exponenciales. En púrpura estaría expresado el nivel de reserva energética anaeróbica y en verde el porcentaje de su utilización. En azul el % de potencia que se está realizando en relación a la realizada al VO2 Max.

3- El WKO5 había pronosticado que el VO₂max sería de 63ml/k/min a una potencia de 299W (etapa en la cual el deportista toleró 60seg). El umbral de lactato se había predicho en 237W y en el análisis de gases y test de lactato fue a 245w (se produjo al 83% de la potencia al VO₂max) en la 5ta etapa, a una FC entre 165-171 lat. En la *figura 5*, se muestran todos los hitos fisiológicos que pueden darse durante una prueba de esfuerzo que resultan del análisis del programa. Claramente se ve el incremento de la FC conforme avanza el tiempo y la carga. Se puede ver, que una vez superado el umbral anaeróbico en la etapa de 245 W, el aporte energético proviene progresivamente de un metabolismo anaeróbico. Esto es graficado por la línea púrpura y cuyo descenso va indicando el agotamiento de dichas reservas. La curva verde muestra el % de utilización de dichas reservas. Es importante resaltar que la capacidad de realizar esfuerzos por encima del umbral es una característica personal, entrenable y finita. Dicha capacidad se mide en Kjoules o Kjulios, en este deportista su valor llega a 18.9 Kjulios. Se entiende por 1 julio al trabajo necesario para producir un vatio de potencia durante un segundo. Vale decir que si la reserva es de 18.9 Kjulios cada vatio/seg que el deportista esté por encima de su umbral habrá consumido 1 julio. En este caso, durante la prueba el deportista estuvo 4 min. por encima de su umbral, ya que estuvo 3 min. promediando los 286 w en la etapa 6 y 1 min a 312 w en la etapa 7. Esto daría que durante 180 seg. estuvo 49 w por encima de su umbral de 237 w y 60 seg, 75 w por encima, lo que daría un consumo de 8,82 Kjulios+4,5 Kjulios. lo que da un gasto de 13,3 KJ. Cuando el deportista inicia la etapa de 245 w, como se ve en el gráfico, ya comienza a descender lentamente la curva púrpura, lo cual indica que ya

estaba levemente por encima de su umbral y se estaría generando ácido láctico lentamente (sería el inicio de la vía glucolítica anaeróbica). El proceso es más acusado al entrar en la etapa de 275 w. Al iniciar esta etapa ya arranca con 2 KJ menos, utilizados en la etapa anterior por lo que estaría en 16.9 KJ, por lo que al utilizar 13.3 solo quedarían alrededor de 3,6 KJ. Posiblemente estos KJ que en teoría todavía estaban en reserva no pudieron ser utilizados, debido a que en realidad no estaban disponibles ya que el deportista a pesar de lo indicado, el día anterior había realizado un entrenamiento de 2:45 hs, por lo que seguramente tenía acumulado cierto grado de fatiga y un leve déficit de reservas energéticas. En verde se muestra el % de utilización de energía anaeróbica el cual llegó al 88% de sus reservas. En la curva azul se ve el % de potencia que se realiza en relación al VO₂max (*Figura 3*).

Volviendo al análisis general del desempeño del deportista y yendo a la programación de su entrenamiento, es importante saber cuáles son sus valores máximos de potencia en diferentes tiempos, curva potencia/tiempo (Cusick T. How to Train with Power with WKO, 2021). Para tener estos datos, sin un programa, el deportista debería ser testeado en cada uno de estos lapsos de tiempo para ver la potencia media que genera. Al tener todos estos en el programa, ya se tiene confeccionada la curva potencia/tiempo, en este caso y a diferencia de la *figura 1*, el tiempo es expresado en forma logarítmica para tener una mejor definición en los valores de potencia de segundos. Esta curva es la que se muestra en la *figura 4* donde se encuentran todos los valores medidos en amarillo (datos de entrenamientos y competencias), y los teóricos máximos que podría tener estimados por el programa. Hay que destacar que los valores medi-

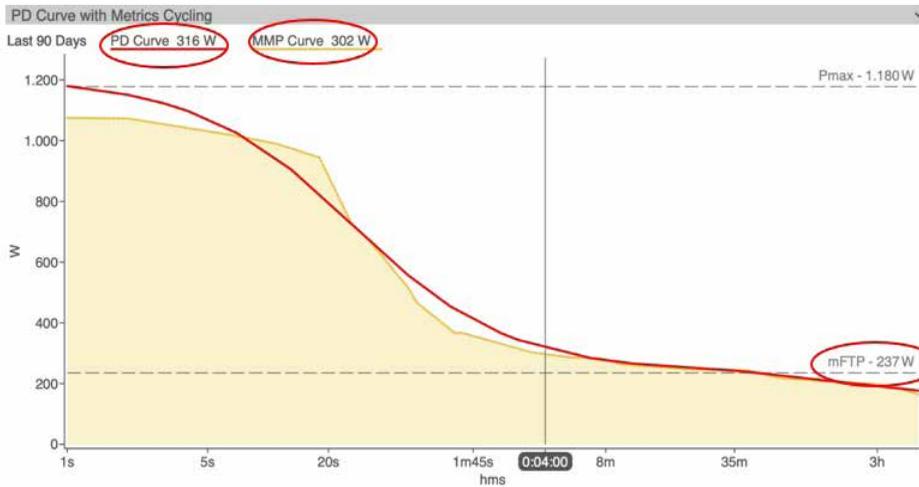


FIGURA 4.

Curva potencia/tiempo. En rojo la potencia teórica o estimada y en amarillo la verdadera realizada por el deportista. En la figura, un ejemplo en el tiempo de 4 minutos. La potencia estimada es de 316w y la mejor potencia medida fue de 302w. mFTP es la máxima potencia modelada media que puede ser mantenida por un tiempo prolongado sin agotarse. Se podría decir que está asociada al máximo estado estable de lactato y levemente por debajo del umbral.

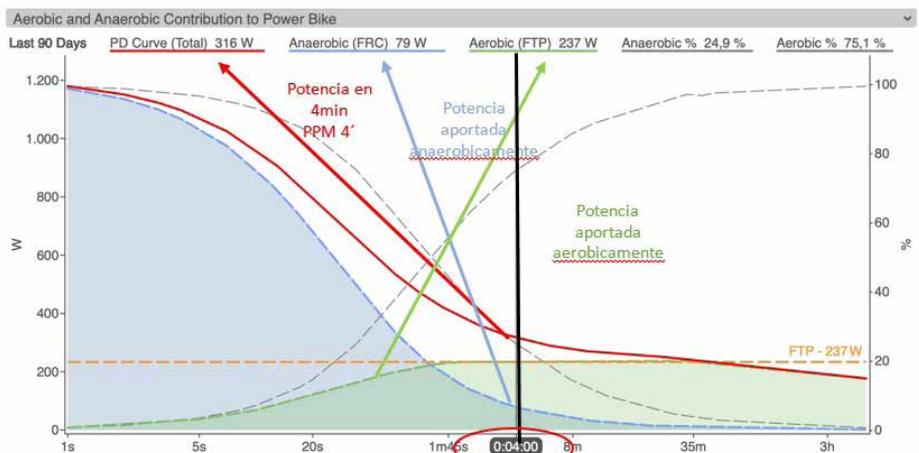


FIGURA 5.

La figura permite comprender con un poco más de detalle la fisiología metabólica de un deportista en particular

dos son los máximos dentro de entrenamientos y carreras en esos tiempos y no los realizados en test all-out. En esos tiempos los valores podrían ser mayores, por eso la línea roja estima cuales serían esos valores para esfuerzos únicos.

En el ámbito metabólico, y siguiendo con las estimaciones, también es posible saber, para un esfuerzo de un tiempo determinado que porcentaje de la energía es aportada por la vía aeróbica y por la vía anaeróbica. De esta forma entender con un poco más de detalle la fisiología metabólica de este deportista en particular. Se hará referencia a la figura 5. Para el caso seguiremos con el ejemplo del esfuerzo de 4 min. La potencia máxima realizable teórica es de 316 w (curva roja) en la intersección con la línea de 4 min (línea negra vertical). De estos 316 w, 79 w (24,9%) son producidos anaerómicamente (curva azul) y 237 w (75,1%) en forma aeróbica curva verde. Tener estos datos es importante porque permite identificar los % aportados por cada sistema energético.

Para finalizar, en la tabla 2 se muestran las cargas en w, el tiempo, y el número de series que el deportista deberá realizar los esfuerzos para estimular la capacidad que se propone desarrollar. Por ejemplo, para mejorar el rendimiento en el rango de potencia asociada al VO₂ max deberá realizar

esfuerzos en el rango FRC/FTP durante un tiempo de entre 3-6 min en un valor de 260-280 w; 3-8 repeticiones, sumando un Tiempo en zona (TiZ) entre 12-30 min. La relación ejercicio/pausa 1:1 en rojo (Tabla2). Para mejora de la resistencia en torno al umbral anaeróbico, los esfuerzos específicos deberán ser los resaltado en azul en la misma tabla.

DISCUSIÓN

En el ámbito de la mayoría de los deportes de resistencia, tres serían los aspectos relevantes que determinan el éxito de un deportista: el consumo máximo de oxígeno (VO₂max), eficiencia biomecánica y la potencia o velocidad al Umbral de lactato, posiblemente también el Peak power output^{10,16,17}. Estas cualidades, en el ciclismo, atletismo, remo, esquí de fondo son contundentes para los resultados y tanto es así que se dice que un elevado VO₂max es necesario para el éxito, aunque no es condición suficiente, haciendo referencia a la importancia del rendimiento al umbral¹⁸. De todas formas, un bajo valor descarta por completo, por lo tanto, el Vo₂max identifica a un deportista con posibilidad de éxito. Esto se basa también en la importancia y necesidad de contar con un alto porcentaje de potencia producido en el umbral, ya que este ámbito es el

TABLA 2.

Ejemplos de sesiones de esfuerzos para estimular el desarrollo de una capacidad determinada.

Nivel	Sistema energético	h:m:s	Intervalos optimizados				Recuperación
			Lim sup	Limi inf	N rep	Tpo en zona	
Pmax	Potencia máxima	00:00:11	908	888	5-10	>1min	7-12min Full
Pmax/FRC	Potencia anaeróbica	00:00:23	644	624	4-10	>2min	7-12min Full
FRC	Capacidad anaeróbica	00:00:54	521	501	3-12	4-12 min	1:2-1:10 (ej/pausa)
FRC/FTP	Potencia aeróbica	00:06:44	280	260	3-8	12-30min	1:1 (ej/pausa)
FRC/FTP	Aer Intensivo FTP	00:34:02	240	220	1-4	30-90min	<5min
FTP	Aer Extensivo FTP	00:42:38	235	215	1	TTE	NA

En **rojo** potencia aeróbica VO₂max. En **azul** entrenamientos alrededor del umbral anaeróbico.

cual el deportista va a permanecer por más tiempo durante la definición de las competencias. En otro aspecto también es fundamental la eficiencia biomecánica^{16,19}. Es importante tener valores en el ámbito cardiovascular, metabólico y neuromuscular⁹. Teniendo un perfil completo del deportista se podrá comparar su potencial con el de la media mundial²⁰. Si bien es difícil tener una media estadística al menos esta es una idea de baremo. En este caso, se pueden ver las mediciones comparativas dispuestas en la curva potencia/tiempo, como en los diferentes ámbitos metabólicos y como es su ranking a nivel mundial general respecto a su edad. En el caso analizado para la MMP de 4 min su valor está en el 72% de la serie mundial y 86% respecto a los de su edad. Analizando las comparativas se puede ver que el deportista tiene un desempeño entre bueno y muy bueno con una muy leve ventaja en el desempeño en tiempo de 1-5 seg, hecho descriptivo de los esprinteres, donde se desarrollan altas potencias durante tiempos cortos. Este análisis es importante para realizar el seguimiento y analizar que característica es la dominante para sugerir sobre el tipo de competencias especialidades o terrenos convenientes para su perfil. Las especialidades dentro del ciclismo que requieren estas características son el ciclismo de pista, los esprinteres en pruebas de ruta, y también las pruebas de ciclismo de montaña.

Ninguna de las características en este deportista es preponderante sobre otra, por lo tanto, tiene un perfil que destaca en todas las áreas. Tiene un elevado valor de potencia en el umbral 245 w a un valor de 4.2 mmol de lactato y una FC de 171 lat/min. Este hecho se produjo a un 89% del VO₂ max lo cual habla del alto grado de entrenamiento del deportista. Es importante no hablar de hechos o valores puntuales si no de zonas, para tener márgenes por encima y por debajo debido a errores o variaciones fisiológicas del día a día que suelen ocurrir.

También podemos utilizar la frecuencia cardiaca como orientación para el entrenamiento. Hay que resaltar que es

el dato más importante a tener en cuenta para la prescripción de ejercicio a nivel universal. Esto se debe a la facilidad de su medición y control. La prescripción del entrenamiento puede estar basada como porcentaje de la FC máxima o como porcentaje de la reserva²¹. En la actualidad la gran mayoría de los deportistas disponen de relojes o ciclocomputadoras que informan además de la FC, la zona de entrenamiento o el % de la máxima o de la reserva, además de todas las variables que se han analizado anteriormente. Para el caso de estudio, si se considera una FC máxima de 184 y una de reposo 50. Se puede calcular el valor para el umbral de dos maneras. Si se refiere a la FC máxima el umbral estaría entre el 90-95% (166-174) y considerando la fórmula de Karvonen, el rango estaría entre 163-170 (85-90%)²¹. Para este caso ambos parámetros están dentro del rango de FC que las mediciones directas han dado que es 171, aunque se podría hablar de un rango entre 160-171. Para este caso, se puede observar como este simple dato permite también prescribir entrenamiento con estos valores. En el caso de prescribir por los valores de potencia, aislados, es necesario saber la máxima desarrollada en la última etapa completa. Para este ejemplo se considerarían los 275 w, el umbral estaría en 85% que sería de 233 w o de 249 en caso de considerar 90% del máximo, lo cual coincide con los 171 lat/min del umbral por FC.

En definitiva, se puede concluir que de acuerdo con la complejidad o metodología que se disponga se puede realizar la evaluación y prescripción del ejercicio con las herramientas disponibles y los resultados que se tengan no variarán significativamente.

CONCLUSIONES

La inteligencia artificial permitió inferir con extrema certeza y obtener, como se demostró, un sin número de datos que se aplican directamente en la planificación del entrenamiento. Esto se realizó de una manera sencilla, económica y sin material complejo.

La frecuencia cardíaca calculada en el umbral no ha tenido diferencias entre la medida por test de lactato, por el VO₂, por porcentaje de FC máxima, o por la fórmula de Karvonen. Vale decir que si se respetan las consideraciones técnico-metodológicas del estudio cualquier metodología de evaluación puede llevarse a cabo con similares resultados.

BIBLIOGRAFIA

- Warburton DE, Nicol CW, Bredin SS. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ* **2006**; 174: 801 - 809.
- Kokkinos P, Myers J, Kokkinos J, et al. Exercise Capacity and Mortality in Black and White Men. *Circulation* **2008**; 117: 614 - 622.
- Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *J Am Coll Cardiol* **2002**; 40: 1531 - 1540.
- Myers J, Prakash M, Froelicher V, et al. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med* **2002**; 346: 793 - 801.
- Arós E, Boraita A, Alegría E, et al. [Guidelines of the Spanish Society of Cardiology for clinical practice in exercise testing]. *Rev Esp Cardiol* **2000**; 53: 1063 - 1094.
- American College of Sports Medicine, Riebe D, Ehrman JK, Liguori G, Magal M. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Tenth edition. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; **2018**.; pp 111-138.
- Gulati M, Black HR, Shaw LJ, et al. The prognostic value of a nomogram for exercise capacity in women. *N Engl J Med* **2005**; 353: 468 - 475.
- MorrisCK, Myers J, Froelicher V. Nomogram based on metabolic equivalents and age for assessing aerobic exercise capacity in men. *J Am Coll Cardiol* **1993**; 22: 175 - 182.
- Leo P, Spragg J, Mujika I, et al. Power profiling and the power-duration relationship in cycling: a narrative review. *Eur J Appl Physiol* **2022**; 122: 301 - 316.
- Poole DC, Rossiter HB, Brooks GA, et al. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *J Physiol* **2021**; 599: 737 - 767.
- Poole DC, Burnley M, Vanhatalo A, et al. Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. *Med Sci Sports Exerc* **2016**; 48: 2320 - 2334.
- Sreedhara VSM, Mocko GM, Hutchison RE, et al. A survey of mathematical models of human performance using power and energy. *Sports Med Open* **2019**; 5: 54.
- Valenzuela PL, Morales JS, Foster C, et al. Is the Functional Threshold Power a Valid Surrogate of the Lactate Threshold? *Int J Sports Physiol Perform* **2018**: 1-6.
- Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* **1965**; 8: 329 - 338.
- Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med* **2007**; 37: 575 - 586.
- Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* **2008**; 586: 35 - 44.
- Bell PC, Furber MJ, Someren KA, et al. The Physiological Profile of a Multiple Tour de France Winning Cyclist. *Med Sci Sports Exerc* **2017**; 49: 115 - 123.
- Faria EW, Parker DL, Faria IE. The science of cycling: physiology and training - part 1. *Sports Med* **2005**; 35: 285 - 312.
- Tonnessen E, Hem E, Leirstein S, et al. Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. *Int J Sports Physiol Perform* **2013**; 8: 323 - 329.
- Hunter Allen AC. Training and racing with a Power Meter (2nd edition). 2 ed: Velopress; **2010**. pp 53-69.
- Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* **1957**; 35: 307 - 315.