

Efectos de ruedas aerodinámicas sobre el umbral anaerobio y la performance en el ciclismo

RICARDO DANTAS DE LUCAS;
ESTEVAN CIAMPONE MANCINI;
BENEDITO SÉRGIO DENADAI

Laboratório de Avaliação da
Performance Humana, IB, UNESP -
Rio Claro - SP, Brasil

CORRESPONDENCIA

Benedito Sérgio Denadai,
Laboratório de Avaliação da Performance
Humana, Instituto de Biociências. Av. 24 A,
1515 - Bela Vista - Rio Claro - SP - Brasil
CEP - 13506-900.
e-mail: bdenadai@rc.unesp.br

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2001; 137: 33-38

RESUMEN. Este estudio presentó los siguientes objetivos: 1) verificar el efecto de la utilización de ruedas aerodinámicas (RA) sobre la intensidad del umbral anaeróbico (VUA) en el ciclismo de campo; 2) comparar la performance en el contra-reloj individual (4000 m), con y sin la utilización de RA. Diez ciclistas del sexo masculino (22.1 ± 3.2 años; 172.0 ± 8.1 cm; 66.7 ± 8.3 Kg) participaron de este estudio. Cada individuo ha realizado las siguientes pruebas (con ruedas tradicionales y con RA) en un velódromo descubierto de 333.3 m: 1) determinación de la VUA - 3×2.400 m progresivos a 85, 90 y 95% de la máxima velocidad para el recorrido. Fueron recogidos 25 μ l de sangre del lóbulo de la oreja en los 1, 3 y 5 minutos de recuperación después de cada repetición para medición del lactato. A través de una interpolación lineal se encontró la intensidad referente a 4 mM de lactato (umbral anaeróbico); 2) contra-reloj individual de 4000 m (V4000). Los resultados acusaron una diferencia significativa en la velocidad (km/h) entre las dos condiciones de utilización de ruedas, tanto en la VUA (37.3 ± 2.29 ; 39.0 ± 2.44), como en la V4000 (39.93 ± 1.81 ; 41.05 ± 1.89) sin y con RA, respectivamente. Las VUA y V4000 han presentado una alta correlación entre sí, tanto con RA ($r = 0.84$), como con ruedas tradicionales ($r = 0.78$). La porcentaje de mejora determinada por la utilización de las RA en VUA (4.5%) fue significativamente mayor que en la V4000 (2.7%). Se puede concluir que la utilización de RA determina un acrecimiento de la VUA, el cual puede explicar, en parte, la mejora de la performance en la V4000.

PALABRAS CLAVE: Ruedas Aerodinámicas; Umbral Anaeróbico; Contra-reloj.

SUMMARY. The aim of this study were: 1) to verify the effect of aerodynamic wheels (AW) on the intensity corresponding to anaerobic threshold (AT) in velodrome field test; 2) to compare time trial performance (4000 m) with and without AW. Ten men cyclists (22.1 ± 3.2 yr.; 172.0 ± 8.1 cm; 66.7 ± 8.3 Kg) participate in this study. Each subject randomly completed the following protocols on different days (with and without AW) in a velodrome of 333.3 m: 1) determination of AT - 3×2.400 m at intensities corresponding to 85, 90 and 95% of maximal velocity for the distance with 20 min. of rest between bouts. Blood sample (25 μ l) was collected for lactate measurements at 1st, 2nd and 3rd min. post exercise recovery. By linear interpolation, the intensity corresponding to a 4 mM of blood lactate (AT) was determined, 2) individual time trial (V4000). There was a significant difference in the velocity (km/h) with and without AW for both, AT (37.3 ± 2.29 ; 39.0 ± 2.44) and V4000 (39.93 ± 1.81 ; 41.05 ± 1.89), respectively. There was a high correlation between AT and V4000 with ($r = 0.84$) and without ($r = 0.78$) AW. The percentual improvement determined by AW in the AT (4.5%) was significantly higher than in the V4000 (2.7%). It can be concluded that the use of AW determines the AT improvement, which can contribute for the improvement in the V4000.

KEY WORDS: Aerodynamic Wheels; Anaerobic Threshold; Time-Trial.

INTRODUCCION

La preocupación con las modificaciones aerodinámicas en el ciclismo competitivo, principalmente en pruebas contra-reloj, ha aumentado mucho en las últimas dos décadas. La resistencia aerodinámica impuesta al movimiento de un ciclista, puede ser mejorada a través de tres variables: posición del ciclista mientras pedalea; dimensiones y formato del cuadro de la bicicleta y modelos de ruedas utilizadas⁽⁶⁾.

El arrastre causado por la rueda puede ser reducido a través del número de radios, del perfil de la llanta, de la espesura del neumático y también del tamaño de la rueda⁽¹⁰⁾. Aproximadamente el 10% de la energía desprendida por el ciclista para vencer la resistencia al movimiento, ocurre en función de las dimensiones del ciclista (64%), del arrastre de la bicicleta (21%) y de la resistencia de rozamiento de la rueda en el piso.⁽¹⁰⁾

Entretanto, la gran mayoría de estos estudios han sido efectuados en laboratorio existiendo pocos que hayan sido realizados para cuantificar este provecho aerodinámico que la rueda proporciona en los aspectos metabólicos, así como en la performance, medidos directamente en locales de competición.

El umbral anaerobio, identificado con la máxima intensidad donde ocurre equilibrio entre la producción y la eliminación del lactato,⁽⁸⁾ está entre los índices fisiológicos que pueden ser utilizados para la evaluación aerobia, en laboratorios o en pruebas de campo. Por tratarse de un parámetro submáximo, ha presentado mayor validez, inclusive en rela-

ción al consumo de oxígeno, para la prescripción de cargas de trabajo, para predecir performance⁽⁵⁾ y para detectar adaptaciones derivadas del entrenamiento aerobio.⁽¹⁷⁾

De esta manera el objetivo de este estudio ha sido verificar el efecto de las ruedas aerodinámicas (RA) en relación a un índice fisiológico de endurance (umbral anaerobio) y la performance de los 4000 m en tests de campo.

MATERIAL Y METODO

Sujetos

Para la realización de este estudio fueron utilizados 10 atletas del sexo masculino de nivel competitivo nacional (ciclistas o triatletas). Las características generales de los individuos están presentadas en la Tabla I.

Test realizado

Los tests han sido realizados en un velódromo descubierto de 333.3 m de extensión. Los protocolos siguientes fueron realizados randómicamente y en días separados, siempre en el período de la mañana, con una duración máxima de 8-10 días, con ruedas tradicionales y RA. La temperatura ambiente ha variado entre 26 y 28 °C.

Determinación del umbral anaerobio

El umbral anaerobio (UA) fue determinado a través de test de campo según la metodología de Mader et al. (1976)

Tabla I

Valores individuales, media y desviación estándar, de la edad, peso, estatura y porcentaje de grasa corporal de los 10 participantes.

SUJETOS/ DEPORTE	EDAD (años)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	GRASA CORPORAL (%)
1. Ciclista	19	53	168	9
2. Triatleta	23	59	156	10
3. Triatleta	23	60	165	8
4. Ciclista	19	75	180	10
5. Triatleta	21	76	170	13
6. Triatleta	19	66	175	10
7. Ciclista	22	78	181	15
8. Triatleta	20	64	176	12
9. Ciclista	28	72	181	14
10. Ciclista	27	64	170	6
MEDIA	22.1	66.7	172	10.7
SD	3.24	8.28	8.08	2.79

adaptada para el ciclismo por Neiva et al. (1998). El test ha consistido en 3 x 2400 m progresivos con velocidades controladas referente a 85, 90 y 95% de la máxima velocidad para el recorrido, con 20 minutos de pausa entre las series. Después del término de cada repetición fueron recogidos 25 μ l de sangre del lóbulo de la oreja (estocados en 50 μ l de NaF 1%) en el 1,3 y 5 minuto de recuperación. El análisis sanguíneo para la medición del lactato fué realizado a través del método electroquímico (YSI 2300 STAT). A través de interpolación lineal se encontró la velocidad referente a 4 mM de lactato (UA).

Determinación de la performance en el contra-reloj

Los individuos fueron instruídos a realizar 4000 m (12 vueltas) en el menor tiempo posible, partiendo de la posición parada. Durante las performances los individuos han sido animados a realizar el máximo esfuerzo.

Equipos utilizados

Cada individuo utilizó su propia bicicleta de competición adaptadas con las RA [traseira: ZIPP 3000® (trispoke) / delantera: ZIPP 440 SPEED WEAPONRY 440® (semi-cerrada) pesando respectivamente 1.706 Kg e 1.071 kg] y tradicionales [traseira y delantera: CAMPAGNOLO OMEGA V® 32 radios, pesando respectivamente 1.656 Kg e 1.086 Kg]. La ropa vestida durante los tests, así como el casco fueron similares para todos los individuos y para las dos condi-

ciones testadas (con y sin RA) a fin de minimizar otros efectos aerodinámicos.

Análisis Estadístico

Las comparaciones entre las condiciones con y sin el uso de RA, fueron realizadas a través del test de Student para datos parejos. A través del test de correlación de Pearson se ha determinado las correlaciones entre UA y la performance. Se utilizó el test de Wilcoxon para la comparación entre los porcentajes de mejora determinados en la velocidad de UA y la performance de 4000 m por la utilización de las RA. En todos los tests se adoptó un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

Los valores de la V4000 y de la VUA son presentados en la Tabla II. Fueron encontrados aumentos significativos ($p < 0.05$) en la V4000 (39.93 ± 1.81 ; 41.05 ± 1.89) y en la VUA (37.3 ± 2.29 ; 39.0 ± 2.44) con el uso de las RA.

En las Figuras I y II podemos observar las correlaciones entre la VUA y la V4000, con y sin las RA, respectivamente. Hubo una alta correlación entre las velocidades de performance máxima y la VUA con las ruedas tradicionales ($r = 0.78$) y RA ($r = 0.84$).

Los valores de mejora del porcentaje en la VUA y en la performance determinados por la RA, son presentados en la Tabla III. Hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) en el porcentaje de mejora determinada por el uso de la RA en la VUA (4.5%) y en la performance máxima (2.7%).

Tabla II Velocidades referentes a performance y umbral anaerobio con ruedas tradicionales y aerodinámicas.

SUJETOS	Performance común (km/h)	Performance aero (km/h)	Umbral común (km/h)	Umbral aero (km/h)
1	37.6	39.1	35.6	36.9
2	40.5	41.2	37.0	39.3
3	40.1	40.6	37.9	38.9
4	42.6	43.5	38.8	40.1
5	38.6	39.8	37.5	39.5
6	40.4	42.5	39.3	42.4
7	41.0	42.3	36.1	38.3
8	37.0	37.6	32.7	34.4
9	39.4	40.6	37.1	38
10	42.1	43.3	41.2	42.7
MEDIA	39.93	41.05*	37.32	39.05*
SD	1.81	1.89	2.29	2.44

* $p < 0,05$ en relación con las ruedas comunes

Figura I

Correlación entre velocidades de performance máxima (4000m) y de umbral anaerobio con ruedas tradicionales.

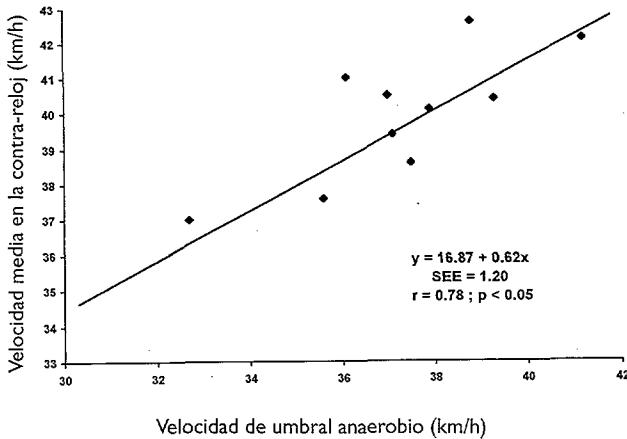


Figura II

Correlación entre velocidades de performance máxima (4000m) y de umbral anaerobio con ruedas aerodinámicas.

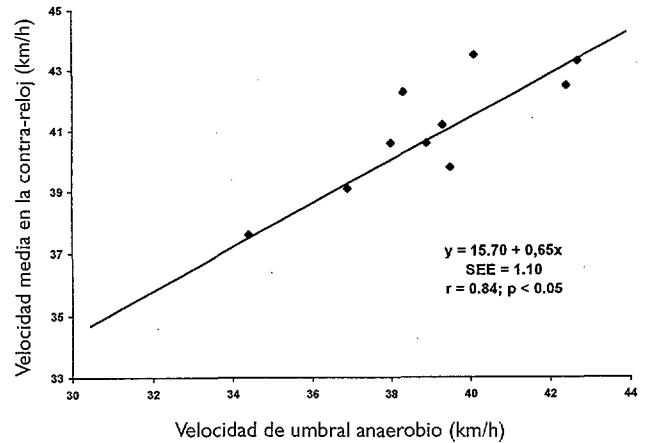


Tabla III

Diferencias porcentuales de las velocidades de umbral anaerobio y de performance máxima entre ruedas aerodinámicas y tradicionales.

Sujetos	Diferencia porcentual en el umbral anaerobio entre ruedas	Diferencia porcentual en el performance entre ruedas
1	3.6%	4.0%
2	6.2%	1.7%
3	2.6%	1.2%
4	3.3%	2.1%
5	5.3%	3.1%
6	8.1%	5.2%
7	6.1%	3.1%
8	5.2%	1.6%
9	2.4%	3.0%
10	3.6%	2.8%
MEDIA	4.5%	2.7%*

* $p < 0,05$ en relación a la diferencia en el umbral anaerobio entre ruedas.

DISCUSION

Las influencias de las modificaciones aerodinámicas en el ciclismo competitivo han sido intensamente estudiadas en estas últimas décadas.⁽⁷⁾ Varias fueron las modificaciones ocurridas en los equipos utilizados en el ciclismo en los últimos años. Entre las más importantes tenemos la mejora del material de fabricación de las bicicletas, la introducción de manillares aerodinámicos en pruebas contra-reloj, la creación de ruedas y otros equipos en formato aerodinámico. Todas estas

alteraciones buscan siempre la mejora del material a través de la disminución del peso y/o del formato aerodinámico, lo que permite disminuir la resistencia dinámica impuesta por el aire.

Diversos estudios han sido realizados con el objetivo de entender mejor el efecto de estos equipos aerodinámicos sobre el ciclismo^(16, 9). Sheel et al. (1996) estudiaron respuestas fisiológicas durante el ciclismo mientras los individuos utilizaban diferentes posturas en la bicicleta utilizando o no el manillar aerodinámico. Estos autores encontraron una disminución significativa en el gasto de energía mientras los individuos pedaleaban utilizando el manillar, comparado con la postura tradicional (erecta) utilizada por los ciclistas.

La preocupación con la validez de evaluaciones de campo en el ciclismo ha aumentado bastante en los últimos años y viene siendo objeto de algunos estudios.^(1,14,15)

Las RA vienen siendo poco estudiadas bajo el punto de vista del consumo energético. Mientras tanto, algunos estudios vienen intentando cuantificar las reducciones de la resistencia dinámica (arrastre) impuesta por el aire en este tipo de equipo comparando con las ruedas tradicionales. Kyle (1985) ha estimado a través de la reducción del arrastre, una reducción aproximada de 10 seg en una prueba contra-reloj (simulado en el túnel del viento) de 25 millas a una velocidad constante de 30 mph, reduciendo simplemente el número de radios de las ruedas (36 para 28) o el perfil de los aros (aerodinámicos). El perfil de cada radio (redondo o achatado) también parece interferir de forma significativa sobre el arrastre. Capelli et al. (1993) estudiaron el costo

energético asociado a la utilización de bicicletas aerodinámicas, con las bicicletas preparadas en tres grupos: cuadro y rueda aerodinámica (AA); cuadro aerodinámico y rueda tradicional (AT); y cuadro y rueda tradicional (TT). Las ruedas tradicionales en este estudio eran cerradas y la rueda delantera presentaba mayor diámetro que las tradicionales. De acuerdo con sus datos, los autores han propuesto que el uso de equipo aerodinámico (AA) puede determinar una mejora de la performance durante la competición, alrededor de 3% en relación a TT.

En nuestro estudio, utilizamos un conjunto de ruedas que consistió en una rueda trasera con tres radios y la delantera semi-aero con 24 radios. Este conjunto ha sido escogido por ser bastante utilizado por ciclistas y triatletas en pruebas de contra-reloj al aire libre.

Nuestros resultados apuntaron un aumento significativo tanto de la VUA (4.5%), cuanto de la V4000 (2.7%) (Tabla II). La mejora en la VUA, muestra que los ciclistas fueron capaces de pedalear en una mayor velocidad con las RA sufriendo básicamente el mismo stress metabólico (4 mM de lactato sanguíneo) que cuando utilizaba las ruedas tradicionales. El aumento significativo en las velocidades de performance y de VUA (máximo estado estable de lactato) utilizando las RA, puede ser explicado por la disminución del arrastre generado por la utilización de las mismas, que consecuentemente requiere menos energía para pedalear con una misma velocidad.

Aunque algunos estudios hayan demostrado que las ruedas cerradas tengan mayor potencial de mejora de arrastre, estas tienden a ser insertables cuando hay viento cruzado debido a su gran área lateral. De esta forma, en ambientes abiertos se han utilizado bastante las ruedas con un número limitado de radios (3-5) anchos y achatados lateralmente. Mientras tanto en pruebas de pista cubierta, las ruedas cerradas constituyen aún la mejor opción aerodinámica, mereciendo estudios posteriores que cuantifiquen la mejora adicional a otros modelos de rueda aerodinámicas.

En nuestro estudio ha sido encontrada una correlación significativa entre la VUA y la V4000, tanto con ruedas aerodinámicas ($r = 0.84$) como con ruedas tradicionales ($r = 0.78$). Estos resultados están de acuerdo con estudios previos que también encontraron correlación entre VUA, determinado en test de campo (con ruedas tradicionales) y la performance en una prueba de ciclismo de 40 km contra-reloj en

ruta ($r = 0.96$).^(1,2) Miller & Manfredi (1987) encontraron también una alta correlación entre el UA y el tiempo de performance en un contra-reloj de 15 km también en ruta ($r = 0.93$). Mientras tanto pocos estudios tienen demostradas correlaciones entre el UA y la performance de pruebas de pista específicamente la persecución de 4000 m. Craig et al. (1993) fueron uno de los únicos en estudiar estas relaciones y encontraron correlaciones menores que los estudios de Balikian et al. (1996) y Miller & Manfredi (1987), y semejantes a aquellas encontradas en nuestro estudio, sugiriendo que otros factores y no solamente capacidad aerobia son importantes para la performance de pruebas de menor duración. Entre estos factores, se puede nombrar la capacidad anaerobia, que también parece ser importante en pruebas con esta duración.⁽⁴⁾

Cuando comparamos los porcentajes de mejora que la rueda ha proporcionado, entre VUA (4.5%) y V4000 (2.7%) obtuvimos una diferencia significativa, mostrando una vez más que la performance en esta prueba no es dependiente solamente de la capacidad aerobia. Craig et al. (1993) estudiaron algunos índices fisiológicos, tanto de naturaleza aerobia como anaerobia y los correlacionaron con la performance de esta prueba de pista. Estos autores encontraron correlaciones significativas del VO_2 máx ($r = -0.79$), del umbral de lactato y del umbral individual (variación $r = -0.66$ a -0.86), así como del máximo déficit acumulado de oxígeno - MAOD ($r = -0.50$) con la performance de 4000 m. Un dato muy interesante de este estudio fue la correlación significativa con el MAOD, que representa un índice anaerobio, sugiriendo de esta forma que la performance en esta prueba, tiene una contribución significativa del sistema energético anaerobio. Estos datos pueden explicar en parte el menor aumento de la performance en la V4000 que en la VUA, observado en nuestro estudio. Aún es interesante destacar, que la mejora de porcentaje de la V4000 (2.7%) de nuestros atletas es muy próxima a aquella sugerida por Cappeli et al. (1993) (3%), aunque los autores no tengan analizado directamente la influencia de equipos aerodinámicos sobre la performance, pero, en verdad, en el costo energético de pruebas realizadas en velódromo.

De esta forma podemos concluir que la utilización de RA determina un aumento de la VUA determinado en un velódromo, el cual puede explicar en parte la mejora de la V4000.

Bibliografia

1. BALIKIAN PJ, DENADAI BS. Aplicações do limiar anaeróbio determinado em teste de campo para o ciclismo: comparação com valores obtidos em laboratório. *Motriz*, 1996;2:26-31.
2. BALIKIAN PJ, DANTAS RL, MANCINE EC, DENADAI BS. Cycling time trial performance and anaerobic threshold relationships. Abstract of International Pre-Olympic Scientific Congress, Dallas, 1996; 113.
3. CAPELLI C, ROSA G, BUTTI F, FERRETTI G, VEICSTEINAS A, DI PRAMPERO PE. Energy cost and efficiency of riding aerodynamic bicycles. *Eur J Appl Physiol*, 1993;67:144-149.
4. CRAIG NP, NORTON KI, BOURDON PC, WOOLFORD SM, STANEF T, SQUIRES B, OLDS TS, CONYERS RA, WALSH CB. Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *Eur J Appl Physiol*, 1993;67:150-158.
5. DENADAI BS, BALIKIAN PJ. Relação entre limiar anaeróbio e performance no short triathlon. *Rev Paul Educ Fis*, 1995;9:10-15.
6. GREENWELL DI, WOOD NJ, BRIDGE KL, ADDY J. Aerodynamic characteristics of low-drag bicycle wheels. *Aeronautical Journal*, 1995;109-120.
7. HALL S. *Biomecânica básica*. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1993.
8. HECK H, MADER A, HESS H, MUCKE S, MULLER R, HOLLMANN W. Justification of the 4mM/l lactate threshold. *Int J Sports Med*, 1985;6:117-130.
9. HEIL DP. The pressor response to submaximal cycle ergometry while using aerodynamic handlebars. *Int J Sports Med*, 1997;18:1-7.
10. KYLE CR. Aerodynamic wheels. *Bicycling*, 1985;26:121-04.
11. MADER A, HECK H, HOLLMANN W. Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of post-exercise lactic concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. Abstract of The International Congress of Physical Activity Science, 1976;187-199. Quebec, Canada.
12. MILLER FR, MANFREDI TG. Physiological and anthropometric predictors of 15-kilometer time trial cycling performance. *Res Q Exerc Sport*, 1987;58:250-254.
13. NEIVA CM, BALIKIAN PJ, DANTAS R, DENADAI BS. Determination of maximal steady state in cycling track test. Abstract of XXVI FIMS World Congress of Sports Medicine, 1998; 41.
14. PADILLA S, MUJICA I, CUESTA G, POLO JM, CHATARD JC. Validity of a velodrome test for competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 1996;73:446-51.
15. SHEEL AW, LAMA I, POTVIN R, COUTTS KD, MCKENZIE DC. Comparison of aero-bars versus traditional cycling postures on physiological parameters during submaximal cycling. *Can J Appl Physiol*, 1996;21:16-22.
16. TOO D. Biomechanics of cycling and factors affecting performance. *Sports Med*, 1990;10:286-302.
17. WELTMAN A. *The blood lactate response to exercise*. Champaign, IL : Human Kinetics, 1995.