

Efectes de les rodes aerodinàmiques en el lindar anaeròbic i la performance en el ciclisme

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

Laboratori d'Avaliação da
Performance Humana, IB, UNESP –
Rio Claro – SP, Brasil

CORRESPONDÈNCIA

Benedito Sérgio Denadai, Laboratori
d'Avaliação da Performance Humana,
Institut de Biociències. 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

RESUM. Aquest estudi va presentar els següents objectius: 1) verificar l'efecte de la utilització de rodes aerodinàmiques (RA) sobre la intensitat del lindar anaeròbic (ILA) en el ciclisme de camp; 2) comparar la performance en el contrarellotge individual (4.000 m), amb i sense la utilització de RA. Deu ciclistes del sexe masculí ($22,1 \pm 3,2$ anys; $172,0 \pm 8,1$ cm; $66,7 \pm 8,3$ kg) van participar en aquest estudi. Cada individu ha realitzat les següents proves (amb rodes tradicionals i amb RA) en una velòdrom descobert de 333,3 m: 1) determinació de la ILA – 3×2.400 m progressius a 85, 90 i 95% de la màxima velocitat per al recorregut. Es van extreure 25 μ l de sang del lòbul de l'orella en els 1, 3 i 5 minuts de recuperació després de cada repetició per a mesurar el lactat. Mitjançant una interpolació lineal es va trobar la intensitat per a 3 mM de lactat (lindar anaeròbic); 2) contrarellotge individual de 4.000 m (14.000). Els resultats van mostrar una diferència significativa en la velocitat (km/h) entre les dues condicions d'utilització de rodes, tant en la ILA ($37,3 \pm 2,29$; $39,0 \pm 2,44$), com en la 14.000 ($39,93 \pm 1,81$; $41,05 \pm 1,89$) sense i amb RA, respectivament. Les ILA i V4.000 han presentat una alta vinculació entre sí, tant amb RA ($r = 0,84$) com amb rodes tradicionals ($r = 0,78$). El percentatge de millora induïda per la utilització de les RA en la ILA (4,5%) va ser significativament major que en la 14.000 (2,7%). Es pot arribar a la conclusió que la utilització de RA determina un increment de la ILA, que pot explicar en part la millora de la performance en la 14.000.

PARAULES CLAU: Rodes aerodinàmiques; lindar anaeròbic; contrarellotge.

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.

INTRODUCCIO

La preocupació per les modificacions aerodinàmiques en el ciclisme de competició, sobretot en les proves contrarellotge, ha augmentat molt en les dues últimes dècades. Resulta fonamental dir que la resistència aerodinàmica imposada al moviment d'un ciclista, pot millorar-se a mitjançant tres variables: posició del ciclista mentre pedaleja; dimensions i format del quadre de la bicicleta i models de les rodes utilitzades ⁽⁶⁾.

L'arrossegament provocat per la roda pot reduir-se mitjançant el nombre de radis, del perfil de la llanda, del gruix del pneumàtic i també de la mida de la roda ⁽¹⁰⁾. Aproximadament el 10% de l'energia despresa pel ciclista per superar la resistència al moviment, depèn de les dimensions del propi ciclista (64%), de l'arrossegament de la bicicleta (21%) i de la resistència del rodament de la roda pel terra. ⁽¹⁰⁾

La majoria d'aquests estudis s'han realitzat en laboratoris, essent pocs els fets per quantificar l'aprofitament aerodinàmic que la roda proporciona en els aspectes metabòlics, així com en la performance, mesurats directament en locals de competició.

El llindar anaeròbic, identificat amb la màxima intensitat on té lloc l'equilibri entre la producció i la del lactat ⁽⁸⁾, es troba entre els índex fisiològic que poden utilitzar-se per a l'avaluació aeròbica, en laboratoris o en proves de camp. En tractar-se d'un paràmetre submàxim, presenta una major validesa, fins i tot en relació amb el consum d'oxigen, per a la pres-

cripció de càrregues de treball, per predir performance ⁽⁵⁾ i per detectar adaptacions recurrents de l'entrenament aeròbic.

Així, l'objectiu d'aquest estudi ha estat verificar l'efecte de les rodes aerodinàmiques (RA) en relació amb un índex fisiològic de resistència (llindar anaeròbic) i la performance dels 4.000 m en test de camp.

MATERIAL I METODE

Subjectes

Per a la realització d'aquest estudi es van utilitzar 10 atletes de sexe masculí de nivell competitiu nacional (ciclistes o triatletes). Les característiques generals dels individus són presentades a la Taula I.

Test realitzat

Els tests es van realitzar en un velòdrom descobert de 333,3 m d'extensió. Els següents protocols es van aplicar aleatòriament i en dies separats, sempre pel matí, i amb una durada màxima de 8-10 dies, amb rodes tradicionals i RA. La temperatura ambient ha variat entre 26 i 28°C.

Determinació del llindar anaeròbic

El llindar anaeròbic (LA) es va determinar mitjançant un test de camp segons la metodologia de Mader et al. (1976) adaptada per el ciclisme per Neiva et al. (1998). El test ha consistit en 3 x 2.400 m progressius amb velocitats controla-

Taula I

Valors individuals, mitjana i desviació estàndar de l'edat, pes, talla y percentatge de greix corporal dels 10 participants

SUBJECTES DEPORTE	EDAT (anys)	PES (Kg)	ALÇADA (cm)	GREIX 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
MITJANA	22.1	66.7	172	10.7
SD	3.24	8.28	8.08	2.79

des al 85, 90 i 95% de la velocitat màxima del recorregut, amb 20 minuts de pausa entre cada sèrie. Finalitzada cada repetició es van extreure 25 µl de sang del lòbul de l'orella (emmagatzemats en 50 µl de NaF 1%) passats 1,3 i 5 minuts de recuperació. L'anàlisi sanguínia per mesurar el lactat es va realitzar mitjançant el mètode electroquímic (YSI 2300 STAT). Per la interpolació lineal es va trobar la velocitat referent a 4 mM de lactat (LA).

Determinació de la performance en la contrarellotge

Es va donar instruccions als individus per tal que correguessin 4.000 m (12 voltes) en el menor temps possible, sortint d'aturats. Durant les performances, els individus han estat animats a realitzar el màxim esforç.

Equips emprats

Cada individu va utilitzar la seva pròpia bicicleta de competició adaptades amb les RA [posterior: ZIPP 3000® (trispoke)/anterior: ZIPP 440 SPEED WEAPONRY 440® (semitancada), amb un pes respectiu de 1,706 kg i 1,071] i tradicionals (posterior i anterior: CAMPAGNOLO OMEGA V® 32 radis, amb un pes respectivament de 1,656 kg i 1,086 kg). La roba durant la prova, així com el casc eren similars per a tots els ciclistes i per a les dues condicions del test (amb i sense RA) per tal de minimitzar altres efectes aerodinàmics.

Anàlisi estadística

Les comparacions entre les condicions amb i sense RA es van realitzar mitjançant el test de Student per a dades similars. Mitjançant el test de vinculació de Pearson, s'han determinat les vinculacions entre el LA i la performance. Es va utilitzar el test de Wilcoxon per a la comparació entre els percentatges de millora determinades en la velocitat de LA i la performance de 4.000 m per la utilització de les RA. En tots els test es va adoptar un nivell de significància de $p \leq 0,05$.

RESULTATS

Els valors de la V4.000 i del LA es presenten a la Taula II. Es van constatar increments significatius ($p < 0,05$) en la V4.000 ($39,93 \pm 1,81$; $41,05 \pm 1,89$) i en la ILA ($37,3 \pm 2,29$; $39,0 \pm 2,44$) amb l'ús de les RA.

En les Figures I i II podem observar les vinculacions entre la ILA i la V4.000 amb i sense les RA, respectivament. Es va donar una alta vinculació entre les velocitats de performance màxima i la ILA amb les rodes tradicionals ($r = 0,78$) i RA ($r = 0,84$).

Els valors de millora en el percentatge de la ILA i en la performance determinats per la RA es presenten a la Taula III. Es van observar diferències significatives ($p < 0,05$) en el percentatge de millora per l'ús de la RA en la ILA (4,5%) i en la performance màxima (2,7%).

Taula II

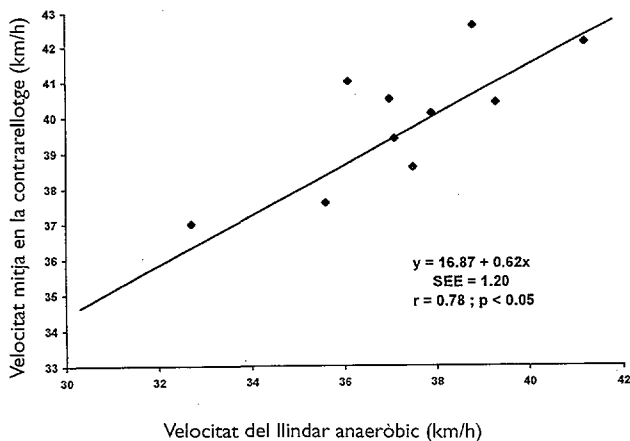
Velocitats referents a performance i llindar anaeròbic amb rodes tradicionals i aerodinàmiques

SUBJECTES	Performance tradicional (km/h)	Performance aero (km/h)	Llindar tradicional (km/h)	Llindar 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
MITJANA	39.93	41.05*	37.32	39.05*
SD	1.81	1.89	2.29	2.44

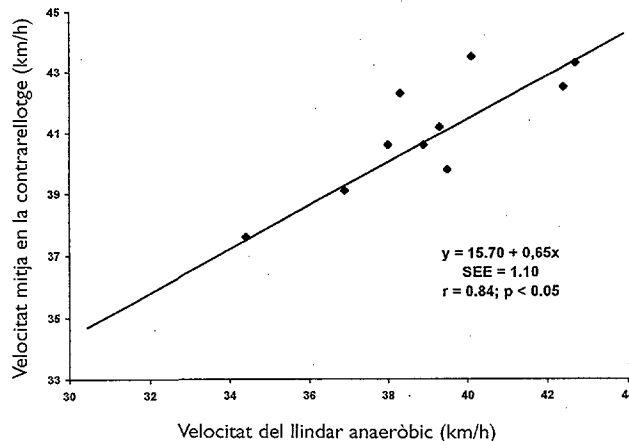
* $p < 0,05$ en relació amb les rodes tradicionals

Figura I

Vinculació entre velocitats de performance màxima (4.000 m) i de llindar anaeròbic amb rodes tradicionals.

**Figura II**

Vinculació entre velocitats de performance màxima (4.000 m) i de llindar anaeròbic amb rodes aerodinàmiques.

**Taula III**

Diferències percentuals de les velocitats del llindar anaeròbic i de performance màxima entre rodes aerodinàmiques i tradicionals.

Subjectes	Diferència percentual en el llindar anaeròbic entre rodes	Diferència percentual en la performance entre rodes
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%
MITJANA	4.5%	2.7%*

* $p < 0,05$ en relació amb la diferència en el llindar anaeròbic entre rodes

DISCUSSIO

Les influències de les modificacions aerodinàmiques en el ciclisme competitiu s'han estudiat amb profunditat aquestes últimes dècades.⁽⁷⁾ Les modificacions aplicades en els equips dels ciclistes han estat diverses en els darrers anys. Entre les més importants podem destacar la millora en el material de fabricació de les bicicletes, la introducció de manillars aerodinàmics en les proves contrarellotge, la introducció de

rodes i altres equips en format aerodinàmic. Totes aquestes alteracions cerquen sempre la millora del material per la distribució del pes i/o del format aerodinàmic, fet que permet minvar la resistència dinàmica imposada per l'aire.

S'han realitzat diversos estudis per tal de comprendre millor l'efecte d'aquests equips aerodinàmics sobre el ciclisme^(16,9). Shell et al. (1996) van estudiar les respostes fisiològiques en la pràctica del ciclisme mentre els ciclistes aplicaven diferents postures sobre la bicicleta utilitzant o no el manillar aerodinàmic. Aquests autors van trobar una disminució significativa en la despesa d'energia quan els individus pedalejaven utilitzant el manillar, comparat amb la postura tradicional (dreta) utilitzada pels ciclistes.

La preocupació per la validació de les avaluacions de camp en el ciclisme ha augmentat aquest darrers anys i segueix sent centre d'interès en alguns estudis.^(1,14,13)

Les RA han estat poc estudiades des del punt de vista del consum energètic. Alguns estudis, però, intenten quantificar les reduccions de la resistència dinàmica (arrossegament) imposada per l'aire en aquest tipus d'equipament comparant amb les rodes tradicionals. Kyle (1985) ha estimat, a través de la reducció de l'arrossegament, una reducció aproximada de 10 seg en una prova contrarellotge (simulat en el túnel del vent) de 25 milles a una velocitat constant de 30 mph, reduint simplement el nombre de radis de les rodes (de 36 a 28) o el perfil de les llandes (aerodinàmics). El perfil de cada radi (rodó o aplanat) també sembla interferir de forma significativa en l'arrossegament. Capelli et al. (1993) van estudiar la despesa energètica associada a la utilització de bicicletes aerodinàmiques, separant les bicicletes en tres grups: quadre i

rodes aerodinàmiques (AA); quadre aerodinàmic i roda tradicional (AT); quadre i roda tradicional (TT). En aquest estudi, les rodes tradicionals eren tancades i la roda davantera presentava millor diàmetre que les tradicionals. Segons les seves dades, els autors han proposat que l'ús d'equipament aerodinàmic (AA) pot determinar una millora de la performance durant la competició, al voltant d'un 3% en relació a TT.

En el nostre estudi, hem utilitzat el següent conjunt de rodes: la posterior amb tres radis i la anterior semi-aèria amb 24 radis. S'ha optat per aquest conjunt per ser força utilitzat pels ciclistes i triatletes en proves de contrarellotge a l'aire lliure.

Els nostres resultats van assenyalar un increment significatiu tant pel que fa a la ILA (4,5%) com a la V4.000 (2,7%) (Taula II). La millora en la ILA mostra que els ciclistes van ser capaços de pedalejar a una major velocitat amb les RA pintant, bàsicament, el mateix estrès metabòlic (4 mM de lactat sanguini) que quan utilitzaven rodes tradicionals. L'augment significatiu en les velocitats de performance i de la ILA (màxim estat estable de lactat) emprant-se les RA es pot explicar per la disminució de l'arrossegament generat per la utilització de les mateixes que requereixen menys energia per pedalejar a la mateixa velocitat.

Encara que alguns estudis hagin demostrat que les rodes tancades exerceixen un major potencial de millora de l'arrossegament, aquestes tendeixen a ser inestables quan hi ha vent creuat degut a la gran àrea lateral que presenten. Així, en ambients oberts es tendeix a fer servir les rodes amb un nombre limitat de radis (3-5) amples i aplanats lateralment. En canvi, en proves en pista coberta, les rodes tancades són la millor opció aerodinàmica, havent de ser objecte de posteriors estudis que quantifiquin la millora addicional a altres models de rodes aerodinàmiques.

En el nostre estudi hem establert una significativa vinculació entre la ILA i la V4.000 tant amb rodes aerodinàmiques ($r=0,84$) com amb rodes tradicionals ($r=0,78$). Aquests resultats concorden amb estudis previs que també van corroborar la vinculació entre la ILA, determinada en tests de camp (amb rodes tradicionals), i la performance en una prova de ciclisme de 40 km contrarellotge en carretera ($r=0,96$)

^(1,2). Miller i Manfredi (1987) també van trobar una alta vinculació entre el LA i el temps de performance en una contrarellotge de 15 km, també en carretera, ($r=0,93$). Però són pocs els estudis que hagin demostrat vinculacions entre el LA i la performance en proves de pista, específicament la persecució de 4.000 m. Craig et al. (1993) han sigut uns dels pocs que han estudiat aquestes relacions i han trobat vinculacions menors que les dels estudis de Balikian et al. (1996) i Miller i Manfredi (1987), però similars a les trobades en el nostre estudi, suggerint que altres factors, i no només la capacitat aeròbica, són importants per a la performance en proves de menys durada. Entre aquests factors, es pot esmentar la capacitat anaeròbica que sembla ser important en proves d'aquesta durada⁽⁴⁾.

Quan comparem els percentatges de millora que la roda ha proporcionat entre la ILA (4,5%) i la V4.000 (2,7%) observem una diferència significativa que demostra, altra vegada, que la performance en aquesta prova no depèn només de la capacitat aeròbica. Craig et al. (1993) van estudiar alguns índex fisiològics, tant de naturalesa aeròbica com anaeròbica, i els van vincular amb la performance d'aquesta prova de pista. Aquests autors van detectar vinculacions significatives del VO_2 màx ($r=-0,79$), del llindar de lactat i del llindar individual (variació $r=-0,66$ a $-0,86$), així com del màxim dèficit acumulat d'oxigen -MAOD ($r=-0,50$) amb la performance de 4.000 m. Una dada molt interessant d'aquest estudi va ser la important vinculació amb el MAOD que representava un índex anaeròbic, suggerint així que la performance en aquesta prova té una contribució significativa en el sistema energètic anaeròbic. Aquestes dades poden explicar, en part, el menor increment de la performance en la V4.000 que en la ILA, detectat en el nostre estudi.

Encara podem destacar que la millora en el percentatge del V4.000 (2,7%) dels nostres atletes és molt propera a la indicada per Cappelli et al. (1993) (3%), encara que els autors no hagin analitzat directament la influència dels equipaments aerodinàmics en la performance, o sigui, en la despesa energètica de proves realitzades en el velòdrom.

Amb això podem concloure que la utilització de RA determina un increment determinat de la ILA en una velòdrom, que pot explicar també la millora de la V4.000.

Bibliografia

1. BALIKIAN PJ, DENADAI BS. Aplicações do limiar anaerobio 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-Olimpic 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 NB, 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 anaerobio 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, MÜCKE 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 P, COUTTS KD, MCKENZIE DC. Comparison of aero-bars versus tradicional 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.