PubliCE, (PubliCE) 1998

Monograph

Ciclismo Cuesta Arriba y Cuesta Abajo

David P Swain[1]

[1]*Wellness Institute and Research Center, Old Dominion University, Norfolk, Virginia 23529.*

RESUMEN

Las fuerzas principales que un ciclista debe superar son la resistencia del aire y la gravedad. La resistencia del aire se incrementa exponencialmente con la velocidad. En la transición desde el ciclismo en el llano al ascenso de una colina, el descenso de la velocidad reduce la resistencia del aire hasta el punto en que pegarse a otros ciclistas provee poco beneficio. En este punto, los ciclistas más pequeños, quienes tienden a tener índices de peso/potencia superiores, serán capaces de escaparse del pelotón. La habilidad para ascender puede ser mejorada a través de la reducción del peso, y también por medio de pedalear a una cadencia consistentemente alta. Los atletas mas grandes pueden alcanzar mayores velocidades cuesta abajo, pero en los tramos de montaña los ciclistas mas pequeños aun tienen una ventaja. La utilización de una estrategia de potencia variable mejora el rendimiento total: incrementar ligeramente el esfuerzo cuesta arriba y compensarlo con la reducción del esfuerzo cuesta abajo. En los descensos empinados es necesario pedalear solamente al comienzo y cuando se sale de las curvas para alcanzar rápidamente la velocidad final.

Palabras Clave: resistencia, aire, cadencia, drafting, ritmo, carrera

El ciclismo es un deporte complejo en el cual los competidores deben competir con una variedad de estrategias empleadas por los oponentes como también contra varios factores ambientales. El principal de estos últimos es la pendiente del terreno. El rendimiento en las montañas es el factor principal que determina el éxito en las principales competencias internacionales de ciclismo. En este artículo presento una revisión del conocimiento científico actual relacionado al ciclismo cuesta arriba y cuesta abajo y describo que pueden hacer los atletas para mejorar su rendimiento en la montaña.

COMPETIDORES DEL CICLISMO

Los eventos competitivos en el ciclismo incluyen las carreras en ruta, las pruebas contrarreloj, y los criteriums. Cada uno de estos eventos representan desafíos diferentes para los atletas.

Las carreras en ruta están caracterizada por un comienzo masivo. Todos los corredores comienzan juntos como parte de un pelotón, aunque los individuos son en realidad miembros de distintos equipos. Los temas principales que afectan el rendimiento en las carreras en ruta son las tácticas de equipo y el drafting. Debido a que los ciclistas permanecen agrupados en el pelotón, solo unos pocos de los que están al frente en cualquier momento enfrentan los efectos de la resistencia del viento (McCole y cols. 1990), mientras que los otros pueden mantener fácilmente el ritmo de carrera del pelotón por medio del drafting. Comúnmente, los ciclistas que se salen del pelotón pueden distanciarse de este solamente cuando la compleja dinámica del equipo lo permite. La excepción principal a esta regla, como se discutirá luego, ocurre cuando el pelotón se encuentra en la montaña.

Las pruebas contra reloj tienen diferentes problemas. Los ciclistas individualmente enfrentan al viento y al reloj por sus

propios medios. La potencia individual y la resistencia son los que en definitiva determinan el rendimiento. Por esta razón, las pruebas contrarreloj han recibido el sobrenombre de “la carrera de la verdad”. Las carreras profesionales por etapas, tal como el Tour de Francia, utilizan etapas contrarreloj para separar a los competidores de los ciclistas de respaldo (i.e., domestiques) en la posición global, así como también a los ganadores del resto de los competidores. Los triatletas realizan esencialmente una prueba contra reloj durante la etapa de ciclismo de la competición.

Las carreras de Criterium son eventos con largadas en masa llevadas a cabo en un circuito pequeño con curvas. Los ciclistas realizan múltiples recorridos al circuito, con vueltas de alta velocidad. El rendimiento se basa en gran parte en las destrezas de manejo de la bicicleta y en la velocidad de sprint.

De las tres formas básicas de carreras de ciclismo, la carrera en ruta es una de las mas conocidas por la utilización de terrenos en pendiente. La consiguiente discusión de los factores que influencian el rendimiento en la montaña asumirá que se trata de una carrera en ruta.

ASCENSO

Como se indica en la siguiente ecuación (DiPrampero y cols 1979), existen tres fuerzas principales a superar en el ciclismo: la resistencia de rodamiento, la resistencia del aire y la gravedad.

$$W = k_rMs + k_aAsv^2 + giMs$$

Donde W es la potencia, k_r es el coeficiente de resistencia de rodado, M es la masa combinada del ciclista y la bicicleta, s es la velocidad de la bicicleta sobre la ruta, k_a es el coeficiente para la resistencia del aire, A es el área frontal combinada del ciclista y la bicicleta, v es la velocidad de la bicicleta a través del aire (i.e., velocidad sobre la ruta mas la velocidad del viento en la cabeza), g es la constante de aceleración gravitacional, y finalmente i es la inclinación de la ruta (grado; sin embargo, esto es solo una aproximación, ya que técnicamente debería utilizarse el seno del ángulo de la ruta a la horizontal).

En las bicicletas modernas con cubiertas angostas de alta presión, la resistencia de rodado es insignificante. Debido a que la potencia requerida para superar la resistencia del aire es proporcional al cubo de la velocidad de la bicicleta (si no hay viento, y s=v); a medida que el ciclista intenta incrementar la velocidad es necesario un incremento exponencial en la potencia.

Cuando se va cuesta arriba se adiciona la gravedad a las fuerzas que se deben superar. Debido a que los ciclistas tienen una potencia finita, el o ella deberán necesariamente disminuir la velocidad proporcionalmente a la pendiente de la colina, si se quiere mantener un estado estable en el metabolismo aeróbico. Si bien el efecto de la pendiente es obvio, los efectos mas sutiles de este cambio en las fuerza tienen un impacto dramático sobre la competencia.

Considere los efectos del incremento gradual de la inclinación de la ruta por encima de cero mientras se mantiene constante la potencia. Debido a que el componente de la resistencia del aire es proporcional al cubo de la velocidad, al principio solo se necesita una reducción relativamente pequeña en la velocidad para compensar el incremento en la inclinación. A medida que continua incrementándose la inclinación, es necesario una mayor reducción en la velocidad, dada la naturaleza curvilínea de la relación cúbica de la velocidad. De esta manera, se requiere de una cuesta empinada para enlentecer substancialmente a un ciclista competitivo. Sin embargo, el porcentaje preciso de graduación que tiene un impacto significativo no puede ser especificado, ya que depende del nivel de potencia que puede ser sostenido por cada ciclista.

Dado que se ha alcanzado la pendiente apropiada, en este momento ocurre un cambio en la dinámica de la carrera. A medida que la gravedad sustituye a la resistencia del aire como la fuerza principal a ser superada, el drafting se vuelve una herramienta relativamente inútil en la competición. A muy bajas velocidades (en el orden de los 16 km/h o menos) la resistencia del aire es insignificante, y el drafting se vuelve casi sin sentido.

El cambio en las fuerzas causa que el pelotón en una carrera de ruta se rompa, ya que aquellos ciclistas que tienen las mayores potencias aeróbicas pueden distanciarse de los competidores con menores potencias aeróbicas y que ahora se ven privados de la asistencia derivada del drafting. Un aspecto interesante de este cambio es que los ciclistas mas pequeños tienen ventaja en los ascensos, mientras que los ciclistas mas grandes son mejores en los esfuerzos individuales en terreno plano. Como consecuencia de las relaciones geométricas (Astrand y Rodahl 1986, Schmidt-Nielsen 1984), la masa se incrementa con el cubo de la altura, mientras que el área de superficie se incrementa solo con el cuadrado de la altura.

Esto significa que, aunque los ciclistas más grandes tienen una mayor área frontal total para empujar a través del aire que los ciclistas mas pequeños, su ventaja en la masa (y en la capacidad para generar potencia) es aun mayor. Como consecuencia, los ciclistas más grandes tienen un mayor índice de potencia/área frontal que los ciclistas mas pequeños, dándole a los ciclistas mas grandes una ventaja para superar la resistencia del aire (Swain y cols 1987), tal como se observa en las pruebas contra reloj. No es sorprendente que Miguel Indurain, el distinguido ciclista de las pruebas contra reloj de los años 90', fuera mayor que la mayoría de sus rivales.

Sin embargo, debido a que la resistencia del aire es insignificante con bajas velocidades de ascenso, todos los ciclistas tienen un costo energético similar, relativo a su peso corporal. Los ciclistas mas pequeños tienen ventaja en el ascenso debido a que generalmente tienen una mayor potencia aeróbica relativa (VO_2máx en ml/min/kg) que los ciclistas mas grandes. Esto también es consecuencia de la relación geométrica: en relación a la masa corporal, los organismos mas pequeños tienen mayor superficie alveolar y capilar en los pulmones, una superficie de área capilar mayor en los músculos, y una mayor área se sección cruzada arterial para el transporte de sangre. La examinación de los atletas de resistencia de elite de varios deportes, incluyendo el ciclismo, ha revelado que el VO_2máx se relaciona elevando a la masa a una potencia de 2/3; esto es, si un atleta de elite que pesa 60 kg tiene un VO_2máx de 80 ml/min/kg, entonces se esperaría que un atleta de elite comparablemente entrenado que pesa 100 kg tenga un VO_2máx de 68 ml/min/kg (Astrand y Rodahl 1986, Swain 1994). De esta manera, a nivel de los atletas de elite, uno esperaría un rendimiento superior de los atletas más pequeños en los eventos aeróbicos donde los requerimientos de potencia son aproximadamente proporcionales a la masa corporal, tales como las carreras de fondo y los ascensos en el ciclismo. (Técnicamente, el requerimiento de potencia se relaciona más estrechamente con la masa, i.e. M0.76-M0.79, que la producción de potencia, M0.67; Swain 1994). No es sorprendente que Marco Pantani, el ciclista distinguido por sus ascensos, sea uno de los hombres más pequeños del pelotón con solo 55 kg. Cualquier cosa que se pueda hacer para reducir el peso del ciclista y de la bicicleta, sin comprometer la potencia aeróbica del ciclista, mejorará el rendimiento en el ascenso.

ECONOMIA DEL ASCENSO

Mientras que los requerimientos de potencia para el ciclismo cuesta arriba pueden describirse fácilmente, existen muchos factores que afectan la habilidad del ciclista para aplicar la esta potencia de forma económica. El tener una potencia aeróbica alta no se traslada a una mayor velocidad a menos que sea convertida efectivamente en movimiento externo.

Un factor que influencia la economía del ciclismo es la cadencia de pedaleo. Varios estudios han demostrado que cadencias de 80 a 90 rpm. permiten la utilización más económica del metabolismo aeróbico con altas producciones de potencia durante el ciclismo en ruta sin pendiente. A pesar de esto, se ha observado que los ciclistas competitivos realizan los ascensos con una cadencia substancialmente menor.

Las razones por las que los ciclistas prefieren menores cadencias durante los ascensos no son claras. Sin embargo, es evidente una simple explicación mecánica. La adición del componente gravitacional a las fuerzas que se oponen al ciclista, provocan una marcada reducción en la velocidad. A menos que el ciclista posea en su bicicleta combinaciones de platos y piñones más bajas, la cadencia de pedaleo caerá. Los ciclistas de ruta a menudo no poseen combinaciones de platos y piñones suficientemente bajas en sus bicicletas, a diferencia de aquellos que compiten en bicicleta de montaña.

Quizás debido a las menores cadencias durante los ascensos, se observa que los ciclistas de ruta a menudo se para mientras pedalean. Esta estrategia transmite efectivamente su peso corporal hacia los pedales, lo cual podría permitir una mayor producción de fuerza para una las revoluciones de mayor fuerza y menor velocidad.

Si bien estos beneficios potenciales deberían ser examinados, una investigación de laboratorio acerca del ascenso demostró que una alta cadencia (80-90 rpm.) provoca el menor consumo de oxigeno (Swain y Wilcox 1992), tal como se mostró previamente para el ciclismo sin pendiente. A partir de la evidencia científica disponible parecería que la utilización de las combinaciones más bajas en los ascensos podría mejorar el rendimiento.

DESCENSOS

Durante los descensos, la pendiente negativa de la montaña en la ecuación de potencia se refleja en la adición de energía potencial gravitacional a la potencia generada por el ciclista. En un descenso libre (pasivo), la velocidad del ciclista estará determinada por el balance entre la fuerza de resistencia del aire y la fuerza gravitacional. A medida que el ciclista

acelera, se incrementa sv^2. Una vez que K_aAsv^2 (más el término insignificante de potencia asociado con la resistencia de rodado) se incrementa para equiparar el termino giMs, el ciclista alcanzará la velocidad final. Cualquier incremento adicional en la velocidad deberá ser alcanzado por medio de adicionar energía a través del pedaleo. Sin embargo, en pendientes muy pronunciadas, la velocidad final puede alcanzar los 70 km/h. A tales valores de sv^2, incluso la aplicación del VO_2máx resultarían solamente en un incremento mínimo de la velocidad.

La velocidad final puede resolverse con la ecuación citada anteriormente estableciendo la potencia en 0. Si uno asume que la resistencia de rodado también es 0, y que no hay viento (v=s) entonces la ecuación sería la siguiente:

$$k_aAs^3 = -giMs$$

$$\text{ó, } s = (-giM/k_aA)^{1/2}$$

De esta manera, la velocidad final es aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada del índice M/A. Las relaciones corporales revelan que los ciclistas tienen un mayor índice de masa/área frontal. Por ello, estos descienden más rápido como consecuencia de leyes puramente físicas y no fisiológicas. Debido a que los ciclistas mas grandes tienen una mayor masa, la gravedad actúa sobre ellos con una mayor fuerza de lo que lo hace sobre los ciclistas mas pequeños (Nota: una interpretación errónea es señalar la igual aceleración de dos objetos de diferente tamaño en una caída libre en el vacío, y asumir que la fuerza de gravedad es igual en ambos. La fuerza sobre el objeto de mayor masa es mas mayor, siendo exactamente proporcional a la masa, lo cual se debe a que el objeto con mayor masa es acelerado a la misma tasa que el objeto con menor masa). Si bien los ciclistas más grandes tiene también un área frontal absoluta mayor que los ciclistas mas pequeños, la diferencia no es tan grande como en sus masas. Por lo tanto, los ciclistas más grandes alcanzan una mayor s^3 antes de que el equilibrio de las fuerzas resulten en la velocidad final. Debido a que los ciclistas mas ligeros realizan los ascensos mas rápido debido a su mayor VO_2máx relativo, y que los ciclistas mas pesados descienden mas rápido debido a su mayor índice M/A, uno podría asumir que ambos tendría rendimientos iguales en una carrera que involucre segmentos iguales en subida y en bajada. Sin embargo, los ascensos toman más tiempo que los descensos, por lo tanto la ventaja en la velocidad que tienen los ciclistas mas pequeños en los ascensos producen un mayor tiempo de ventaja del que obtienen los ciclistas mas grandes durante los descensos. Por esta razón, los ciclistas mas pequeños son generalmente competidores superiores en las carreras de ruta con pendientes.

RITMO DE CARRERA

En descensos realizados en pendientes muy pronunciados, los ciclistas necesitan pedalear solamente para asistir a la gravedad y obtener la velocidad final, i.e., durante la aceleración inicial al comienzo del descenso y cuando se sale de las curvas. Durante la mayoría de los descensos, los ciclistas dejan de pedalear. Por lo cual los ciclistas pueden realizar un mayor esfuerzo durante el ascenso, ya que el o ella puede descansar durante el descenso.

En las pendientes con un grado mas moderado, ¿Debería el ciclista mantener un esfuerzo uniforme tanto en el ascenso como en el descenso? En una superficie sin inclinación, la aplicación constante de potencia resulta en un menor tiempo sobre una distancia dada. La variación de la potencia resulta en fluctuaciones de la velocidad y en incrementos en el tiempo de rendimiento. En la montaña, los ascensos y descensos crean variaciones en la velocidad incluso cuando los ciclistas mantienen un esfuerzo constante. Debido a que el ascenso toma mas tiempo que el descenso, sería competitivamente ventajoso realizar un mayor esfuerzo durante el ascenso, con el propósito de minimizar la adición de tiempo. Obviamente el suministro de energía es finito, y el ciclista deberá compensarlo reduciendo el esfuerzo durante el descenso, a manera de recuperación. Esta estrategia reduciría la magnitud de las fluctuaciones en la velocidad en los ascensos y descensos, llevando al ciclista ligeramente mas cerca del estado ideal para mantener una velocidad constante. una simulación de computadora ha demostrado que esta estrategia resulta el tiempo mas rápido cundo se pedalea cuesta arriba y cuesta abajo con pendientes de cualquier grado; a mayor grado, mas efectiva se vuelve la estrategia (Swain 1997).

La variación de potencia necesaria para eliminar completamente las fluctuaciones en la velocidad sería fisiológicamente imposible. Sin embargo, la simulación de computadora demostró que inclusive un modesto incremento en la potencia (tal como el 5% por encima del característicamente utilizado en superficies llanas) durante la porción de ascenso de una carrera reduciría significativamente el tiempo total en un tramo con iguales segmentos en subida y en bajada. Cuanta mayor variación en la potencia pueda manejar el ciclista, mayor será la ventaja en el tiempo de rendimiento. En ascensos que son seguidos por descensos empinados, los ciclistas deberían aplicar la mayor potencia que puedan sostener durante el ascenso. Como se señalo al comienzo de esta sección, el descenso libre permitirá casi un descanso completo. Debe señalarse también que la simulación de computadora demostró que la estrategia de potencia variable también es efectiva para contrarrestar los efectos de la variación en las condiciones del viento.

REFERENCIAS

1. Astrand PO, Rodahl K (1986). Texbook of Work Physiology (pp. 391-411). *New york, NY: McGraw Hill*
2. DiPrampero PE, Cortili P, Mognoni P, Saibene F (1979). Equation of motion of a cyclist. *Journal of Applied Physiology 47, 201-206*
3. McCole SD, Claney K, Conte JC, Anderson R, Hagberg JM (1990). Energy expenditure during bicycling. *Journal of Applied Physiology 68, 748-753*
4. Schmidt-Nielsen K (1984). Scaling: Why is animal size so important?. *Cambridge, England: Cambridge University Press*
5. Swain DP (1997). A model for optimizing cycling performance by varying power on hills and in wind. *Medicine & Science in Sports & Exercise 29, 1104-1108*
6. Swain DP, Coast JR, Clifford PS, Milliken MC, Stray-Gundersen J (1987). The influence of body size on oxygen consumption during bicycling. *Journal of Applied Physiology 62, 668-672*
7. Swain DP, Wilcox JP (1992). Effect of cadence on the economy of uphill cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise 24, 1123-1127*
8. Swain DP (1994). The influence of body mass on endurance cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise 26, 58-63*

Cita Original

David P Swain. Cycling Uphill And Downhill. Sportscience 2 (4), sportsci.org/jour/9804/dps.html, 1998