PubliCE, (PubliCE) 1994

Monograph

Técnica de Pedaleo en Ciclistas de Elite que Realizan Series de 40 Km Por Tiempo

Edward F Coyle

Palabras Clave: ciclismo, competición, élite, umbral láctico

INTRODUCCION

Todos nos preguntamos qué atributos físicos distinguen a los ciclistas de élite de nivel nacional de los buenos ciclistas que, a menudo, ganan las competencias provinciales o locales, pero que no pueden llegar a niveles más altos. En un intento de responder a esta pregunta nosotros reunimos a 9 de los mejores ciclistas de EE.UU. de competencias de 40 km, por tiempo, justo antes de la carrera por etapas del Tour de Texas, en 1989. Durante un período de 2 a 3 días, realizamos numerosas evaluaciones en nuestro Laboratorio de Rendimiento Deportivo en la Universidad de Texas, Austin, con la finalidad de determinar, tanto los factores fisiológicos (corporales) como los mecánicos (técnica de ciclismo), que les permitían a estos deportistas pedalear durante 1 hora a muy altas intensidades. En promedio, los ciclistas de élite de nivel nacional, denominado Grupo 1, eran capaces de pedalear 40 km en 54 minutos (la variación fue desde 51 minutos para el campeón nacional en ese momento, hasta 56 minutos). Luego comparamos al Grupo 1 con 6 buenos ciclistas locales que, en promedio, hacían los 40 km en 60 minutos (rango, 57 a 65 minutos), a los que denominamos Grupo 2. Para estandarizar las condiciones, consideramos solamente su mejor tiempo más reciente realizado al nivel del mar usando una rueda trasera de disco, y sin casco aerodinámico (estimamos que con el casco su tiempo habría sido aproximadamente un minuto menos). Las características físicas y las historias recientes de entrenamiento de estos ciclistas se muestran en la Tabla 1.

Sujeto	Edad (años)	Años de Ciclismo (años)	Años de Resist.	Entrenam. en bicic. (km/sem.)	Tiempo en competenc. de 40 km (min)	Historia reciente de rendimiento en competencias de ciclismo
GRUPO 1						
A	24	10	10	648	51.0	1ro' 87TT Nac.; 1ro'87-'88TT Nac. Equip.; 2do '88TT Nac.
B	24	4	6	769	52.5	2do Panam.; 13ro. '87TT Nac.; 1ro en carreras de ruta
C	26	8	11	689	52.5	1ro '85TT Nac.; 2do TT Nac.; 1ro en carreras de ruta
D	21	9	9	567	54.0	1ro '87 Fest. Olimp.; 15to '87 TT Nac.; 5to '87 TT Pan Am.
E	32	2	11	243	54.0	1ro '88 TT Nac. p/30-35 a.; 3ro '88 TT Texas
F	19	4	4	567	54.0	14to '87 TT Nac.; '86 Equipo Mundial Junior
G	21	7	9	688	55.5	2do '87 Fest. Olimp. x Equip. 1ro en carreras de ruta
H	21	4	7	421	55.5	1ro '88 TT Carr. Univ.; 11mo '88 TT Texas; 1ro en carreras de ruta
I	26	3	12	259	56.0	1er Triatleta Nac. Canadiense Profesional
PROMED.	24	5.7	8.8*	539	53.9*	
±S.E.	4	1.0	0.9	63	0.5	
GRUPO 2						
J	21	3	4	510	57.0	10mo '87 TT Texas
K	21	2	5	486	59.0	8vo '88 TT Nac. Univ.; 3ro '88 Crit. Texas
L	25	6	6	445	59.0	26to '88 TT Texas
M	22	7	7	607	61.0	14to '84 Camp. Nac. Ruta; 2do '88 Carr. Pers. Texas
N	18	5	5	680	59.0	7mo '87 TT Texas; 1ro '87 Select. Camp. Mundial Junior
O	25	2	3	446	65.0	5 posiciones finales en carr. de calif. Locales
PROMED.	23	4.2	5.0	529	60.0	
±S.E.	3	0.9	3	39	1.1	

Tabla 1. *Características de los sujetos, incluyendo su historia de rendimiento en el ciclismo. (*) Grupo 1, significativamente diferente del Grupo 2, mediante uso de test t de Student: p<0.05.*

Los tests de laboratorio realizados, fueron los siguientes:

Potencia de performance durante una hora

Ellos simularon una serie por tiempo en el laboratorio, pedaleando en una bicicleta ergométrica, equipada con pedales para zapatillas de ciclismo (con trabas) y manubrio bajo, a la mayor potencia que pudieran mantener durante una hora. Cada ciclista era libre de variar las Revoluciones por Minuto (RPM) de pedaleo, mientras la potencia era registrada en forma continua.

Técnica de pedaleo

La técnica de pedaleo fue monitorizada usando un pedal especialmente diseñado, que permitía medir la fuerza aplicada en ambas direcciones, vertical (o hacia abajo) y horizontal (o hacia adelante o atrás).

Además, el ángulo del pedal fue medido con un potenciómetro y también se determinó la posición del mismo en el círculo de pedaleo (0º centro superior, 180º centro inferior). Estos instrumentos estuvieron conectados con una computadora IBM

y fue posible calcular el torque del pedal y la potencia generada en cualquier punto de una revolución (Figura 1). La técnica de pedaleo fue registrada en forma periódica durante el test de una hora, y también fue evaluada en otra oportunidad, mientras los ciclistas pedaleaban a diferentes intensidades.

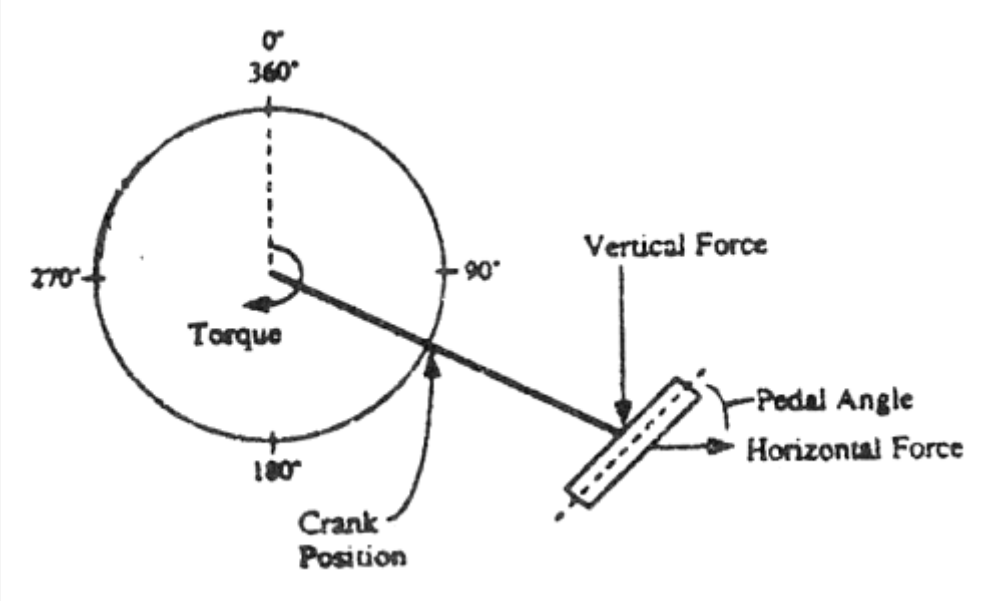


Figura 1. *Gráfico de las fuerzas del pedal en la dirección vertical (empuje hacia abajo) y horizontal (fuerza tangencial o empuje hacia adelante). TC es el torque creado en el centro de la cadena, como consecuencia de las fuerzas verticales y horizontales. El ángulo del pedal y la posición de la cadena también fueron medidos.*

Máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.)

Este test mide la máxima cantidad de oxígeno por minuto que un ciclista puede extraer del aire y transportar hacia los músculos que están en ejercicio, por vía de la sangre que circula por todo el cuerpo, con el corazón sirviendo de bomba. También se lo llama potencia aeróbica. Para determinar el VO_2 máx., el ciclista tuvo que respirar a través de una boquilla pedaleando durante 6-10 minutos con intensidades cada vez mayores hasta alcanzar la máxima frecuencia cardiaca y llegar a la fatiga. El VO_2 máx. puede ser expresado en litros/minuto de oxígeno consumido, o corregido para el tamaño corporal y ser expresado en ml/min/kg de peso (Tabla 2).

	Serie de 40 km por tiempo (min)	Peso Corporal (kg)	Peso Corporal Magro (kg)	Máximo consumo de oxígeno		Edad (años)	Años de entrenamiento	
				L/min	ml/kg/min		Resist. (años)	Ciclismo (años)
Grupo 1	54±1	73±2	66 ± 2	5.1±0.1	70±1	24±4	9±1	6±1
Grupo 2	60 ± 1	71±3	66 ± 2	4.9±0.2	70±1	23±3	5±3	4±2
Difer. e/Grupos	+10% *							

Tabla 2. *Comparación entre los Grupos 1 y 2. (*) Denota una diferencia estadísticamente significativo: p<0.05.*

Umbral de lactato sanguíneo

Esta variable predice mejor la performance que el VO_2 máx. porque indica el grado de stress o fatiga de los grupos

musculares del ciclista. Se determinó midiendo la concentración de ácido láctico, en pequeñas muestras de sangre venosa, obtenidas luego de 5-10 minutos de ciclismo a intensidades del 50, 60, 70, 80, y 90% del VO_2 máx. El umbral de lactato (UL) se expresa mejor como la tasa de gasto energético total (en litros/minuto del VO_2 durante el UL). Un ciclista puede ejercitar durante 2-3 horas en forma continua, pedaleando al VO_2 correspondiente a su UL y se fatigará debido sólo al vaciamiento glucogénico muscular.

Variable predictiva de la performance de la serie de 40 km por tiempo (ST)

Como era de esperar, la Figura 2 muestra que cuanto mayor fue la potencia en una hora para un ciclista, mejor fue su tiempo en la ST de 40 km. En realidad, el tiempo de la ST de 40 km se puede predecir, con 1-2 minutos de diferencia, usando la siguiente fórmula: Tiempo en minutos para los 40 km=92.4-(0,108xpromedio de Watts en una hora). El campeón nacional en ese momento era capaz de mantener 376 watts durante una hora, y hacer los 40 km en 51 minutos. Esta relación también establece que para pedalear más rápido que 60 minutos para los 40 km, un ciclista debe generar una potencia de 300 watts durante una hora.

Variable predictiva de la potencia que un ciclista puede generar en una hora

Adicionalmente, la potencia generada en una hora estuvo, directamente, relacionada con el VO_2 al UL de cada ciclista, como se muestra en la Figura 3. Es decir, que los ciclistas que no comenzaron a aumentar la concentración de ácido láctico hasta que no estuvieran gastando más de 4 l/min de VO_2, fueron capaces de pedalear, en forma continua, a mayores potencias. Esta es la razón por la cual, cuando todos los otros factores son iguales, los ciclistas de élite tienen mejores tiempos en las series. Otro factor importante fue la composición de las fibras musculares. Los ciclistas que tienen un porcentaje más alto de fibras musculares lentas en el muslo, son capaces de convertir un mayor porcentaje del gasto energético de sus músculos en un mejor torque. Sus músculos son, por lo tanto, más eficientes.

COMPARACION ENTRE EL GRUPO 1 Y EL GRUPO 2

Tamaño corporal

A pesar de que el tamaño del cuerpo es un factor importante para el rendimiento en las series por tiempo, esta variable no influyó en las diferencias entre los 2 grupos. En promedio, tanto el Grupo 1 como el Grupo 2 tuvieron un peso corporal, peso magro, y edad, similares (Tabla 2). Además, su VO_2 máx. en ml/kg/min fue idéntico y también fue similar al expresarlo en l/min. Sin embargo, el Grupo 1 había estado entrenando la resistencia durante 2-4 años más que el Grupo 2, y es posible que las adaptaciones derivadas de este mayor período de entrenamiento sean, en parte, responsables de su capacidad superior, a pesar de que los individuos en el Grupo 1, quizás siempre hayan sido mejores ciclistas.

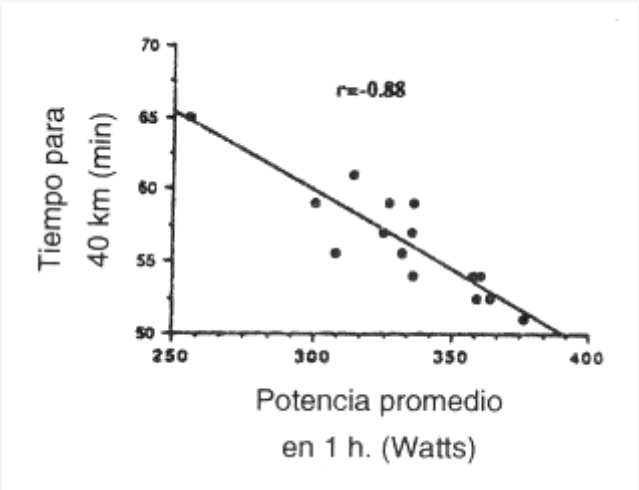


Figura 2. *Relación entre el promedio de potencia mantenida durante una hora en el test de rendimiento deportivo en el laboratorio, y el tiempo de carrera que el ciclista realiza en los 40 km, r=0,88 Tiempo de 40 km (en min)= 92,4-(0,108xpromedio de watts en una hora)*

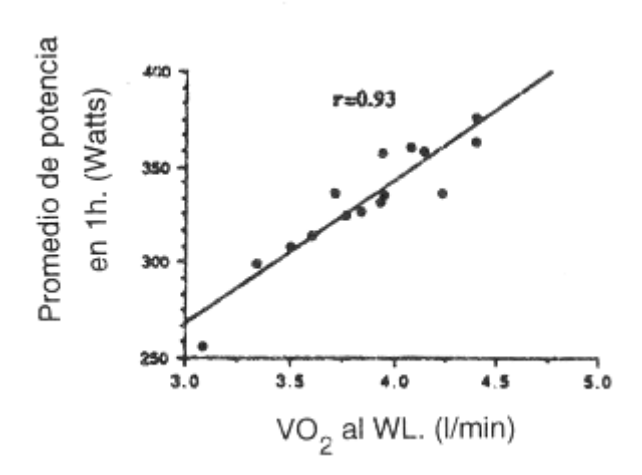


Figura 3. *Relación entre el consumo de oxígeno al nivel del umbral de lactato (VO_2 al UL) y el promedio de potencia mantenida durante el test de una hora. r= 0,93, Promedio de potencia en una hora (watts)= 41.4+75.32*[VO_2 al UL (en litros/minuto)].*

Producción de potencia en una hora: El Grupo 1 fue capaz de pedalear los 40 km, 10% más rápido, y de generar 11% más de potencia durante una hora, que el Grupo 2 (Tablas 2 y 3). Además, pudieron mantener un mayor porcentaje de VO_2 máx. en una hora (90% vs. 86% del VO_2 máx.). La pregunta es, qué tiene su técnica de ciclismo que genere esta posibilidad?.

	Potencia (watts)	**VO_2 (l/min)**	**% VO_2 máx. (%)**	**VO_2 al UL (l/min)**	**% VO_2 máx. Al UL**
Grupo 1	346±7*	4.54±0.1*	90±1%*	4.0±0.1*	79±1*
Grupo 2	311±12	4.18±0.1	86±1%	3.7±0.2	75±1
Diferenc. entre Grupos	+11%*	+9%*	+5%*	+9%*	+5%*

Tabla 3. *Rendimientos de los Grupos 1 y 2, en el laboratorio. (*) Denota una diferencia estadísticamente significativa: p<0.05.*

Torque generado por cada revolución del pedal

La Figura 4 comparó a los dos grupos en los patrones de torque generado durante la revolución promedio del pedal, siendo 0º el centro superior y 180º el centro inferior (ver Figura 1). Se ve, claramente que ambos grupos producían la mayor parte (90-98%) del torque propulsivo durante el movimiento hacia abajo (0º a 180º) y que el pico de torque se producía a los 0º. El Grupo 1 generaba una propulsión pico 22% mayor (o sea, 77 vs. 63 Nm. Un Newton-metro equivale a 0.738 pie-libra), durante el movimiento, hacia abajo, del pedal. Por esta causa, es que ellos fueron capaces de producir un 10% más de trabajo por cada revolución y, por lo tanto, por hora; y también el por qué pedalearon 10% más rápido que el Grupo 2, durante la serie por tiempo. Lo que también es claro, es que ninguno de los grupos generó mucho torque propulsivo durante el movimiento hacia arriba (desde los 180º a los 360º). En realidad, el Grupo 1 tuvo menos propulsión que el Grupo 2.

Nosotros, también comparamos a los 2 grupos mientras pedaleaban, exactamente a la misma potencia. Aún cuando todas las condiciones eran las mismas, el Grupo 1 produjo mayores picos de torque y generó más trabajo durante el movimiento hacia abajo y menos durante el movimiento hacia arriba, en comparación con el Grupo 2.

Fuerzas que producían el torque

El Grupo 1 produjo torques pico 22% mayores, debido a que fueron capaces de empujar los pedales hacia abajo con mayor fuerza pico. Esto se ve en la Figura 5, porque la longitud de la recta que representa la fuerza vertical, que fue 24% mayor en el Grupo 1, comparado con el Grupo 2 (456 vs. 369 N). La fuerza horizontal pico, que es la fuerza de empujar hacia adelante, también fue 14% mayor en el Grupo 1 vs. el Grupo 2 (por ej., 150 vs. 92 N, ver Figura 5). Los cambios en el

ángulo del pedal, o sea, los movimientos del tobillo, fueron idénticos en los dos grupos. Dicho de manera sencilla, los mejores ciclistas generalmente no "tiraban hacia arriba" con más fuerza, sino que empujaban más fuerte sobre el pedal, durante el movimiento hacia abajo.

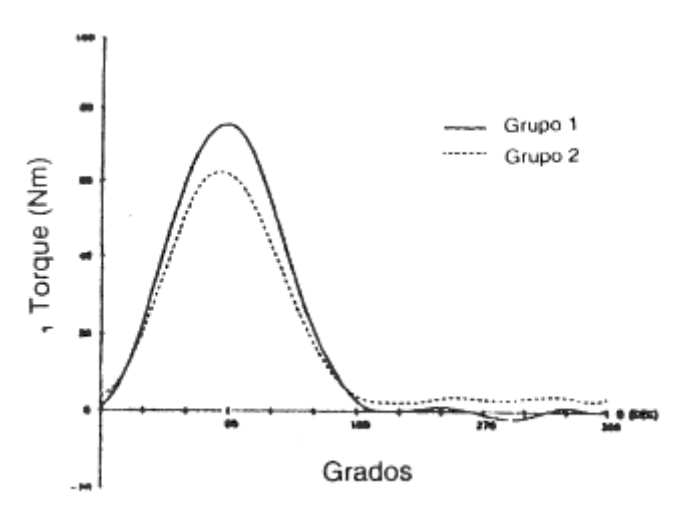


Figura 4. *Gráfico de torque producido cerca de la cadena (TC) vs. la orientación de la cadena (q) para los sujetos del Grupo 1, comparativos con el Grupo 2. 0º para (q) es el punto muerto superior y 180º es el punto muerto inferior.*

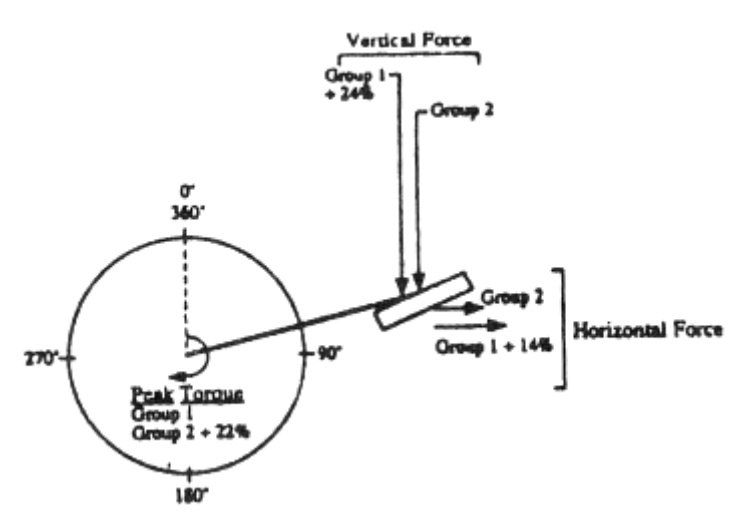


Figura 5. *Comparación de los Grupos 1 y 2 en relación a la cantidad de fuerza producida por el empuje hacia abajo (fuerza vertical) y hacia adelante (fuerza horizontal), sobre el pedal, durante el test de laboratorio de una hora. El Grupo 1 fue capaz de ejercer 27% más de fuerza vertical y 10% más de fuerza horizontal que el Grupo 2, en el punto de mayor potencia (86 grados), en empuje de pedaleo hacia abajo.*
Nota: Los textos de la Figura 5 se conservan en inglés por el escaso espacio para su reproducción en castellano; además, por su similitud con el castellano, son entendibles.

¿Que factores permitieron al grupo 1 empujar hacia abajo y hacia adelante con mas fuerza?

Esta es una pregunta interesante ya que comienza a explicar, específica y directamente, el rendimiento superior que tienen los ciclistas de élite de nivel nacional. Sin embargo, es probable que no haya un solo factor, sino múltiples factores que varíen en magnitud, de un ciclista a otro. Nosotros pensamos que los ciclistas con un alto porcentaje de fibras musculares

y lentas tienen una ventaja distintiva debido a que, para el mismo nivel de gasto energético (oxígeno consumido o ATP hidrolizado), sus músculos producen más fuerza y potencia.

También parece que los músculos del muslo de los ciclistas en el Grupo 1 se fatigaban menos, en comparación con los del Grupo 2, lo que les permitió mantener mayores intensidades (%VO_2 máx.) y empujar hacia abajo continuamente, con más fuerza. Desde luego, las encimas en los músculos del muslo que son responsables de la producción de energía aeróbica estaban, de alguna manera, mejor desarrolladas en el Grupo 1 (Tabla 4). Además, este grupo tenía más capilares sanguíneos alrededor de las fibras musculares de las piernas, lo que les sirvió, en gran medida, para remover el ácido láctico de los músculos que estaban en ejercicio y reducir la fatiga (Tabla 4). También es sabido que las variaciones en la posición del ciclista sobre la bicicleta, incluyendo la ubicación del pie sobre los pedales, pueden alterar la contribución relativa de los numerosos músculos sobre el desarrollo de la potencia.

	% Fibras musculares lentas	Capacidad oxidativa	Densidad capilar (capilares/mm^2)
Grupo 1	67±5	10*	464*
Grupo 2	53±6	8	377
Diferencias	+26%*	+20%*	+23%*

Tabla 1. *Comparación del músculo vasto lateral del muslo en los Grupos 1 y 2.(*) Denota una diferencia estadísticamente significativa: P<0,05.*

Conclusión

Los ciclistas de élite de nivel nacional son capaces de pedalear 40 km, en un tiempo 10% más rápido, simplemente porque ellos pueden generar 11% más de potencia para tal duración, en comparación con otros buenos ciclistas. Esto puede ocurrir a pesar de que no haya diferencias entre los grupos en el tamaño corporal, en la masa muscular, o en el consumo de oxígeno. Esta mayor potencia observada en los ciclistas de élite, se debe simplemente, al hecho de que ellos pueden desarrollar un mayor pico de fuerza y torque durante el movimiento hacia abajo del pedal. Los mejores ciclistas de series por tiempo, empujan el pedal hacia arriba con menor intensidad. Los factores musculares, tales como el tipo de fibras, la capilarización y capacidad oxidativa, probablemente jueguen un papel importante en la determinación de la capacidad muscular que genera tensión, en forma repetida, durante una serie de ciclismo por tiempo.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado, en forma parcial, por el Consejo de Medicina Deportiva del Comité Olímpico de los Estados Unidos. Nosotros apreciamos enormemente la cooperación y dedicación de los ciclistas que participaron en este proyecto.

Cita Original

Edward Coyle. Técnica de Pedaleo en Ciclistas de Elite que Realizan Series de 40 Km Por Tiempo. Proceedings. 3º Simposio Internacional de Actualización en Ciencias Aplicadas al Deporte. 1994.