

# INFLUENCIA DEL DIÁMETRO DEL ARO DE PROPULSIÓN SOBRE LA FRECUENCIA CARDIACA Y LA LACTACIDEMIA EN UN ATLETA EN SILLA DE RUEDAS DE ELITE MUNDIAL

Brizuela<sup>1</sup>, G.; Polo, M.<sup>2</sup>; Martos, J.<sup>3</sup> & Sanchis, E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad de Valencia.

<sup>2</sup>Vicerrectorado de Deportes, Universidad Politécnica de Valencia.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Valencia.

---

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio se centró en determinar el efecto del diámetro del aro de propulsión de la silla de ruedas de atletismo sobre la frecuencia cardiaca y la lactacidemia que se produce a velocidades de competición.

El estudio se llevó a cabo con un atleta de elite mundial, quien realizó un total de 9 series de 5 minutos, a velocidad mantenida, recuperando 10 min entre series y probando 3 aros de propulsión (34, 36 y 38cm de diámetro) a 3 velocidades distintas (20, 22 y 24 Km/h). Se registró la frecuencia cardiaca y la lactacidemia.

Se realizó un ANOVA, encontrando diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) en la Frecuencia Cardiaca obtenida, entre las diferentes velocidades y entre los diferentes diámetros de aro. Se encontró además interacción significativa ( $p < 0,0001$ ) entre los factores Velocidad y Diámetro de Aro.

En términos generales puede concluirse que a 20 Km/h los aros más eficientes (menor FC y lactacidemia) resultaron ser los de 36 cm, mientras que los menos eficientes resultaron los de 34 cm. Sin embargo, tanto a 22 Km/h como a 24 Km/h los aros de 34 cm se convirtieron en los más eficientes y los de 38 cm en los de menor eficiencia.

Puede concluirse que la elección del diámetro de aro óptimo supone una mejora en la eficiencia mecánica tal que en el caso del atleta estudiado, su velocidad máxima sostenible con los aros de 36 cm rondaría los 23 Km/h mientras que con los de 34 cm mantendría 24 Km/h.

Palabras claves: Sillas de ruedas. Atletismo. Eficiencia mecánica.

## ABSTRACT

The aim of the present study was focused on the determination of the effect of the diameter of the hand-rim of the racing wheelchair on the heart rate and blood lactate produced at the competition speeds.

The study was carried out with a world-class athlete, that made a total of 9 series of 5 minutes, at maintained speed, recovering 10 min between series and testing 3 hand-rim (34, 36 and 38cm of diameter) at 3 different speeds (20, 22 and 24 Km/h). Heart rate and blood lactate was measured.

An ANOVA was made and we found statistically significant differences ( $p < 0,0001$ ) on Heart Rate (HR), between the different speeds and between the different diameters of hand-rim. Besides that we also found significant interaction ( $p < 0,0001$ ) among the factors Speed and Diameter of hand-rim.

In general terms it is possible to conclude that at 20 Km/h the most efficient hand-rim (minor HR and blood lactate) was the one of 36 cm, whereas the least efficient was the one of 34 cm. Both 22 and 24 Km/h the most efficient hand-rim was that of 34 cm whereas the least efficient was that of 38 cm.

We can conclude that the election of the optimal diameter of hand-rim supposes such improvement in the mechanical efficiency that in case of the studied athlete, his maximum sustainable speed with the hand-rim of 36 cm would be about 23 Km/h whereas with the hand-rim of 34 cm would be 24 Km/h.

Key words: Wheelchairs. Track and field. Mechanical efficiency.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, para alcanzar la elite mundial de casi cualquier deporte y luchar por las medallas en las competiciones más importantes del mundo, los atletas deben cuidar numerosos aspectos de su vida diaria, especialmente los relacionados con su salud y con su entrenamiento. Del mismo modo, para intentar ser el mejor de su

especialidad deportiva, no sólo deben cuidarse estos mencionados aspectos sino además trabajar continuamente en la optimización de pequeños detalles que marcan la diferencia entre el mayor éxito o una buena clasificación.

El rendimiento del “motor humano” (su potencia y su resistencia, en particular) podría considerarse fundamental, pero en el caso del atletismo en silla de ruedas, debe estudiarse además el rendimiento del conjunto atleta-silla, dedicando un esfuerzo importante al estudio de los componentes de la silla y en particular, aquellos elementos relacionados con la eficiencia mecánica, es decir con el aprovechamiento de la energía mecánica que es capaz de producir este motor humano, gran parte de la cual se pierde y otra pequeña parte consigue transmitirse a las ruedas y propulsar al atleta (Dallmeijer y cols., 2005; Abbott y Wilson, 1995).

En el mundo del ciclismo, algunos investigadores como Burke (1996) o Kyle (1979 y 1988) han hecho aportaciones importantes respecto a la influencia del tipo de ruedas, su resistencia aerodinámica, o incluso el efecto de sus dimensiones sobre las fuerzas de rozamiento con el suelo. También se conoce el efecto de la posición del ciclista, del tipo de casco y de la ropa que utilice, incluso de la forma y dimensiones de la bicicleta (especialmente su área frontal y su Cx) sobre la resistencia aerodinámica.

Sin embargo, apenas existen datos científicos en el ámbito del atletismo en silla de ruedas y, mientras se va generando conocimiento específico, se intenta extrapolar la información generada en otros deportes como el ciclismo, utilizando el sentido común y pequeñas investigaciones aplicadas a sujetos concretos.

El aro de propulsión (Figura 1) es uno de los elementos exclusivo de las sillas de ruedas, cuyas características podrían resultar fundamentales si se estudia la eficiencia con que el atleta transmite su fuerza a las ruedas (Dallmeijer y cols., 2005).

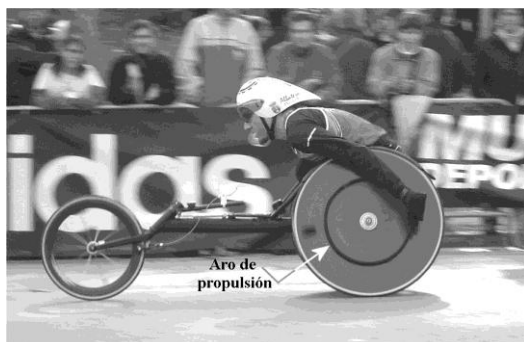


FIGURA 1: En la fotografía puede verse una silla de ruedas de atletismo, en la que se señala el aro de propulsión.

El diámetro del aro de propulsión es el equivalente al desarrollo en ciclismo, con la diferencia que una vez instalado no puede cambiarse en función de la velocidad (como el cambio de desarrollos). De este modo, la elección del diámetro del aro resulta fundamental ya que podría afectar directamente a variables como la frecuencia de embolada, la frecuencia cardiaca, la lactacidemia y, en definitiva, el rendimiento deportivo, como ocurre durante la práctica del ciclismo (Coast, Cox y Wekch, 1986; Gonzales y Hull, 1989; Patterson y Moreno, 1990). Sin embargo es muy habitual que diferentes atletas, con distinta condición física e incluso compitiendo en diferentes distancias, utilicen aros de propulsión de diámetros similares, generalmente de 38cm.

El objetivo del presente trabajo se centró en determinar el efecto del diámetro del aro de propulsión de la silla de ruedas de atletismo sobre la frecuencia cardiaca y la lactacidemia que se produce a velocidades de competición.

#### MÉTODO

El presente estudio se llevó a cabo durante la temporada 2004/2005, con un atleta en silla de ruedas, español, de 24 años de edad, de categoría T52, ganador de 4 medallas olímpicas en pruebas de medio fondo y fondo (800m, 1500m y 5000m) en los Juegos Paralímpicos de Sydney 2000 y Atenas 2004, y un total de 9 medallas más (5 de oro) en Campeonatos de Europa y del Mundo.

Se diseñó un experimento dirigido a determinar el nivel de Estrés Físico, en términos de Frecuencia Cardiaca y Lactacidemia (Janssen, Dallmeijer y van der Woude, 2001) que ocasionaría el empleo de tres aros de propulsión diferentes a tres velocidades de desplazamiento distintas.

En primer lugar el atleta realizó su calentamiento habitual consistente en un rodaje de 15 min, sesión de estiramientos suaves y algunas progresiones hasta 22 Km/h y 24 Km/h, velocidades que alcanzaría en el test.

De inmediato se comenzó con un total de 9 series de 5 minutos de rodaje a velocidad mantenida, distribuidas de modo aleatorio, alternando 3 aros de propulsión diferentes, 34cm, 36cm y 38cm de diámetro respectivamente y 3 velocidades distintas, 20 Km/h, 22 Km/h y 24 Km/h.

Cabe destacar, en primer lugar que aro de propulsión de 38cm es el más utilizado para pruebas de fondo. En segundo lugar, debe tenerse en consideración que dos de las velocidades ensayadas suponían un esfuerzo de intensidad inferior a su umbral anaeróbico individual (umbral láctico) y la tercera velocidad suponía un esfuerzo de intensidad superior a dicho umbral, para el momento de la temporada en que se llevó a cabo el estudio. Debido a que el estudio se planteó para dar apoyo directo al entrenador y al atleta, se disponía de información relevante obtenida en

estudios previos, como el umbral anaeróbico individual, en términos de velocidad, de lactacidemia y de frecuencia cardiaca correspondiente.

El atleta comenzó cada serie con una aceleración suave durante 200 m, antes de alcanzar la velocidad exigida en cada serie, con el objetivo de evitar el efecto de un esfuerzo demasiado explosivo que podría generar mayor lactacidemia de la correspondiente al esfuerzo demandado.

El tiempo de recuperación entre las series fue de entre 10 min y 11 min, con el fin de dar tiempo al aclarado del ácido láctico generado y al cambio de los aros de propulsión.

Durante todas las series se registró y almacenó la frecuencia cardiaca mediante un monitor de frecuencia cardiaca (Polar XTrainer Plus, de Polar Electro OY, Finland) a una frecuencia de 1 muestra cada 5 s. Al finalizar cada serie se midió el lactato sanguíneo (equipo portátil LACTATE-PRO), obteniendo una muestra de sangre del lóbulo de la oreja, a los 30 s de finalizar el esfuerzo.

La silla de ruedas empleada fue una Eagle Racing SportsChair (de Eagle Sportschairs, USA), silla con la que el atleta compitió durante toda la temporada. Cuenta con ruedas traseras lenticulares de fibra de carbono y neumáticos tubulares (700C) de 18 mm de anchura (Figura 2).



FIGURA 2: Vista general de la silla “Eagle” utilizada en el estudio.

La velocidad de desplazamiento se controló mediante un velocímetro montado en la propia silla (precisión de 0,1 Km/h), que observaba el atleta, y mediante la supervisión externa, controlando el tiempo de paso en cada vuelta de 400 m con un cronómetro manual.

Con los datos de frecuencia cardiaca obtenidos se realizó un Análisis de Varianza Multifactor (ANOVA) buscando diferencias significativas en la Frecuencia

Cardiaca según el factor de clasificación Velocidad (niveles: 20 Km/h, 22 Km/h y 24 Km/h) y Diámetro de Aro (niveles: 34 cm, 36 cm, 38 cm), así como la interacción entre ambos factores. Se fijó un nivel de significación Alfa de 0,05.

Los datos de lactacidemia obtenidos (un único valor para cada serie) se utilizaron para contrastar los resultados obtenidos de frecuencia cardiaca y analizar el efecto del diámetro de aro sobre la actividad muscular desarrollada.

### RESULTADOS

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) en la Frecuencia Cardiaca obtenida, tanto para los diferentes niveles del factor Velocidad como para los del factor Diámetro de Aro. Paralelamente, se encontró una interacción estadísticamente significativa ( $p < 0,0001$ ) entre los factores Velocidad y Diámetro de Aro.

El Test de Rango Múltiple post hoc (LSD) destaca diferencias en la Frecuencia Cardiaca (de modo general) entre las tres velocidades estudiadas (20, 22 y 24 Km/h) mientras que entre los diferentes diámetros de aros, sólo se distinguen diferencias entre el grupo formado por los aros de 34 y 36 cm respecto del aro de 38 cm.

Cuando se estudia el efecto del factor Diámetro del Aro sobre la variable Frecuencia Cardiaca, separando el estudio para cada una de las tres velocidades, aparecen en todos los casos diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre los diferentes diámetros de aro, según se refleja en la Figura 3 y la Tabla 1.

TABLA 1

Detalle de los valores de Frecuencia Cardiaca (media y error estándar) obtenidos a tres diferentes velocidades y con tres diámetros distintos aros de propulsión.

Frecuencia cardiaca (p/min)			
Diámetro del aro (cm)	Velocidad (Km/h)		
	20	22	24
34	146,5 ± 0,5	149,3 ± 0,5	173,0 ± 1,7
36	126,2 ± 0,5	157,7 ± 0,5	180,6 ± 1,7
38	139,3 ± 0,5	161,1 ± 0,5	---

*Nota: Con los aros de 38 cm no pudo mantener la velocidad de 24 Km/h.*

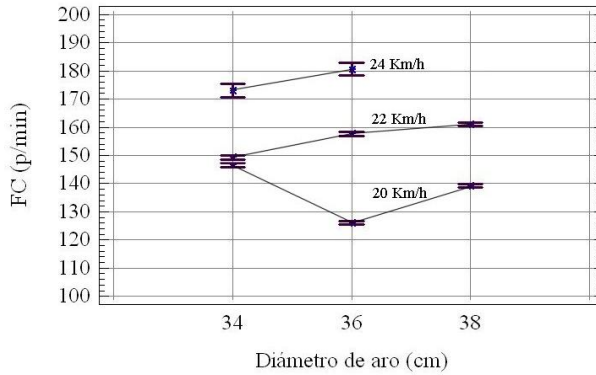


FIGURA 3: Representación de la interacción entre los factores diámetro de Aro y Velocidad sobre la variable Frecuencia Cardiaca, a tres velocidades diferentes (20, 22 y 24 Km/h) y con tres aros de propulsión distintos (34, 36 y 38 cm). Se representa el intervalo de confianza del 95%.

*Nota: Con los aros de 38 cm no pudo mantener la velocidad de 24 Km/h.*

A diferencia del análisis de la Frecuencia Cardiaca, no se puede hablar de diferencias estadísticamente significativas en la concentración de lactato sanguíneo, debido a que se obtuvo una única medida en cada serie, tomada a los 30 s de finalizar el periodo de trabajo. Sin embargo, los resultados de lactacidemia guardan una buena relación con los resultados estadísticos encontrados en Frecuencia Cardiaca (Figura 4 y Tabla 2) y se dirigen en la misma dirección.

TABLA 2

Detalle de los valores de Lactacidemia, obtenidos a los 30 s de finalizado el esfuerzo, a tres diferentes velocidades y con tres diámetros de aros de propulsión.

Diámetro del aro (cm)	Lactacidemia (mmol /l)		
	Velocidad (Km/h)		
	20	22	24
34	2,9	2,2	7,2
36	1,1	2,7	8,6
38	1,7	2,8	---

*Nota: Con los aros de 38 cm no pudo mantener la velocidad de 24 Km/h.*

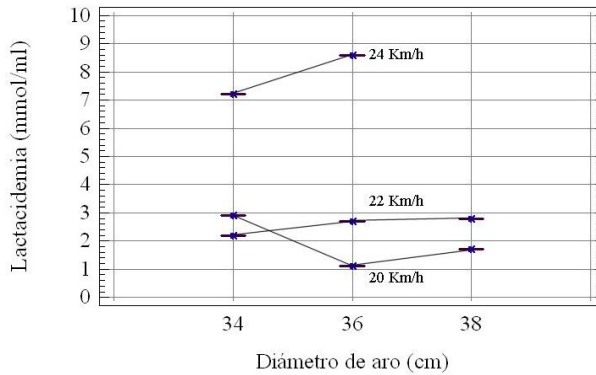


FIGURA 4: Representación de la interacción entre los factores Diámetro de Aro y Velocidad sobre la variable del Lactacidemia, obtenido a los 30 s de finalizado el esfuerzo, a tres velocidades diferentes (20, 22 y 24 Km/h) y con tres aros de propulsión diferentes (34, 36 y 38 cm).

*Nota: Con los aros de 38 cm no pudo mantener la velocidad de 24 Km/h.*

#### DISCUSIÓN

De los resultados expuestos puede extraerse que, para el atleta estudiado, a una velocidad de 20 Km/h, los aros más eficientes resultaron ser los de 36 cm (FC media de 126 ppm y una lactacidemia de 1,1 mmol/l), mientras que los de 38 cm presentaron una eficiencia intermedia (FC media de 139 ppm y lactacidemia de 1,7 mmol/l) y los menos eficientes resultaron ser los de 34 cm (FC media de 147 ppm y lactacidemia de 2,9 mmol/l). Los valores de lactacidemia obtenidos confirman que 20 Km/h suponía una velocidad inferior a la correspondiente al umbral láctico, para cualquiera de los aros probados.

Cuando se incrementa la velocidad a 22 Km/h se produce un cambio, los aros de 34 cm se convierten en los más eficientes (FC media 149 ppm y lactacidemia de 2,2 mmol/l), mientras que los aros de 36 cm consiguen una eficiencia intermedia (FC de 158 ppm y lactacidemia de 2,7 mmol/l) y los de 38 cm se convierten en los de menor eficiencia, aunque por poca diferencia (FC de 161 ppm y lactacidemia de 2,8 mmol/l).

Del mismo modo, a 24 Km/h se confirmó la mayor eficiencia de los aros de 34 cm (FC de 173 ppm y lactacidemia de 7,2 mmol/l) frente a los aros de 36 cm (FC de 181 ppm y lactacidemia de 8,6 mmol/l) y de 38 cm, con los que fue imposible mantener la velocidad establecida. Los datos de lactacidemia confirmaron que, en ese momento de la temporada, 24 Km/h suponía una intensidad de esfuerzo superior a la correspondiente al umbral anaeróbico, con todos los aros probados.

Es muy importante destacar que el presente estudio ha sido realizado con un único atleta, aunque del máximo nivel internacional y, como ocurre frecuentemente en el ámbito del deporte adaptado, con características muy particulares dentro de su propia clase (T52). De acuerdo a ello resulta imposible conseguir una muestra homogénea de sujetos de ensayo, para estudiar en conjunto y obtener conclusiones generalizables al resto de la población. De este modo, pueden extraerse algunas conclusiones generales, incluso recomendarse el empleo de la metodología de trabajo pero los resultados obtenidos son individuales y no deben ser extrapolados directamente a otros atletas.

En cuanto a los resultados del estudio, se comprobó que la frecuencia cardiaca, indicador del estrés físico en la propulsión con los brazos (Janssen, Dallmeijer y van der Woude, 2001), es afectado por el diámetro del aro de propulsión utilizado y que su comportamiento, al estudiar diferentes aros, apunta en la misma dirección que la lactacidemia.

A nivel práctico resulta más cómodo para el atleta y menos invasivo utilizar la frecuencia cardiaca para medir el efecto del cambio de componentes sobre el estrés físico. Sin embargo debe tenerse en cuenta que un cambio en el diámetro del aro afecta directamente a otras variables como la frecuencia de embolada y la fuerza aplicada en cada embolada, pudiendo modificar la actividad muscular, lo que podría valorarse de modo más adecuado mediante el control de la lactacidemia.

Respecto a los resultados encontrados, debe destacarse que una modificación del diámetro del aro de propulsión de solamente 2 cm afecta a la frecuencia cardiaca hasta en 20 ppm, a la velocidad de 20 Km/h, y hasta en 7 ppm, a la velocidad de 24 Km/h. Esta modificación puede tener un efecto de suma importancia cuando se está rodando a velocidades muy próximas al umbral anaeróbico, teniendo en cuenta que rodar por encima del umbral significaría no poder continuar con esa intensidad de esfuerzo en pruebas de larga duración.

Puede decirse que la elección del diámetro de aro de propulsión más adecuado supone mejorar la eficiencia mecánica del conjunto atleta-silla y optimizar la velocidad que el atleta puede mantener, en función de la potencia y la resistencia con que cuenta el motor humano, en el estado de forma del momento.

Los resultados obtenidos con este atleta, si bien no pueden generalizarse directamente al resto de la población, nos permiten asumir que para velocidades de desplazamiento más altas los aros de menor diámetro resultan más eficientes que los de mayores dimensiones y viceversa, a velocidades más bajas sería necesario utilizar aros de mayor diámetro. En el mismo sentido, si se trata de subir cuestas, acelerar o aplicar grandes pares de fuerza, es necesario recurrir a mayores diámetros de aro,



aunque el inconveniente se tendrá durante el descenso, ya que a altas velocidades el atleta no será capaz de aplicar el impulso mecánico necesario sobre los aros.

En el caso del atleta estudiado, se comprobó que durante la fase final de la temporada su umbral anaeróbico se situaba muy próximo a las 170 ppm y la información extraída del presente estudio ha permitido conocer como con los aros de 36 cm podía mantener una velocidad próxima a los 23 Km/h, mientras que con los de 34 cm podía mantener una velocidad de casi 24 Km/h. En una media maratón, optar por el diámetro de aro correcto podría suponer una ventaja final de 1 Km, o de 2,5 min.

Esta metodología de análisis ha resultado de gran ayuda y le ha permitido decidir al atleta con que diámetro de aro preparar cada una de las competiciones importantes, incluso con cual entrenar durante las diferentes fases de la temporada. Sus logros conseguidos, pero especialmente la mejora en su marca personal (nuevos record del mundo) en 5 Km y 10 Km en carretera y un gran número de victorias en importantes carreras, hacen pensar que la optimización del diámetro del aro de propulsión en pruebas de larga duración resulta muy rentable, especialmente cuando se trata de mantener una velocidad muy próxima a la del umbral anaeróbico y pequeños incrementos en la intensidad del esfuerzo dispararían la concentración del ácido láctico en sangre.

Finalmente, como futuras líneas de investigación, sería recomendable llevar a cabo un estudio con mayor número de atletas pero aglutinando sujetos de similar discapacidad (y nivel deportivo), ya que variables como la frecuencia cardiaca o la lactacidemia podrían ser afectadas de diferente modo de acuerdo al tipo y al grado de discapacidad de los sujetos.

## REFERENCIAS

- ABBOTT, A.; WILSON, D. (1995) Human-powered vehicles. *Human Kinetics*. Champaign, IL.
- BURKE, E.R. (1996) High-Tech Cycling. *Human Kinetics*. Champaign, IL.
- COAST, J.R.; COX, R.H.; WEKCH, H.G. (1986) Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 18 (2): 225-230.
- DALLMEIJER, A.; KILKENS, O.; POST, M.; DE GROOT, S.; ANGENOT, E.; VAN ASBECK, F.; NENE, A.; VAN DER WOUDE, L. (2005) Hand-rim wheelchair propulsión capacity during rehabilitation of persons with spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 42, 3: 55-64.
- GONZALES, H.; HULL, M.L. (1989) Multivariate optimization of cycling biomechanics. *Journal of Biomechanics*. 22: 1151-1161.
- JANSSEN, T.; DALLMEIJER, A.; VAN DER WOUDE, L. (2001) Physical capacity and race performance of handcycle users. *Journal of Rehabilitation and Development*. 38, 1: 33-40.

- KYLE, C.R. (1979) Reduction of wind resistance and power output of racing cyclist and runners traveling in groups. *Ergonomics*. 22 (4): 387-397.
- KYLE, C.R. (1988) The mechanics and aerodynamics of cycling. In: E.M Burke; M.N. Newsom (Eds.) Medical and scientific aspects of cycling: 235-251. *Human Kinetics*. Champaign, IL.
- PATTERSON, R.P.; MORENO, M.I. (1990) Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22: 512-516.