

DESARROLLO DE UN ERGÓMETRO DE RODILLO PARA LA VALORACIÓN BIOMECÁNICA Y EL ENTRENAMIENTO DE DEPORTISTAS PARALÍMPICOS EN SILLA DE RUEDAS

Brizuela, G. (*); **Martos, J. (**)**; **Sanchis, E. (**)**

(*) Departamento de Educación Física y Deportiva - Universidad de Valencia

(**) Departamento de Ingeniería Electrónica - Universidad de Valencia

Dirección postal: FCAFE – Ctra. Valencia-Cheste s/n, (46380) – Cheste, Valencia

Correo Electrónico: Gabriel.Brizuela@uv.es

Palabras Clave: Ergómetro - Sillas de rueda

INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas, los fisiólogos y biomecánicos del deporte diseñan y construyen sistemas ergométricos con el fin de valorar a los deportistas en condiciones de laboratorio. Para ello, los ergómetros deben permitir que el gesto deportivo se reproduzca de forma similar a como se realiza en condiciones de campo.

Bajo esta premisa, se han diseñado un gran número de ergómetros específicos, entre los que pueden destacarse ergómetros para remo, para esquí de fondo, o los más populares cicloergómetros y tapices rodantes, ampliamente difundidos incluso como máquinas de entrenamiento en los gimnasios.

En el ámbito del deporte adaptado, sin embargo, son casi inexistentes los sistemas ergométricos que permitan realizar la valoración de los deportistas montados en su propia silla de ruedas. Una solución frecuente es la utilización de cicloergómetros manuales (de mesa), los cuales permiten configurar sus bielas de modo que se dé la embolada de forma simultánea (y no alterna, como se utilizan estos ergómetros normalmente), consiguiendo un gesto algo más parecido al de la propulsión en la silla.

Algunos investigadores (Goosey y Campbell, 1998) han utilizado tapices rodantes motorizados e incluso otros recomiendan su utilización (Vanlandenwijck y cols. 2001). En otros trabajos se describen estudios realizados con la silla montada sobre rodillos, que simplemente se ajustan para ofrecer un par resistente por fricción (Ghelsen y cols., 1997) y algunos otros llevados a cabo con dinamómetros basados en motores eléctricos o alternadores, que generan una carga dinámica (Forchheimer y Lundberg, 1986; Thacker y cols., 1980), destacando el desarrollado por la Universidad de California State, controlado por PC, capaz de simular diferentes escenarios y de medir simultáneamente el par aplicado, la velocidad y la potencia (Cooper, 1989; Niesing y cols. 1990).

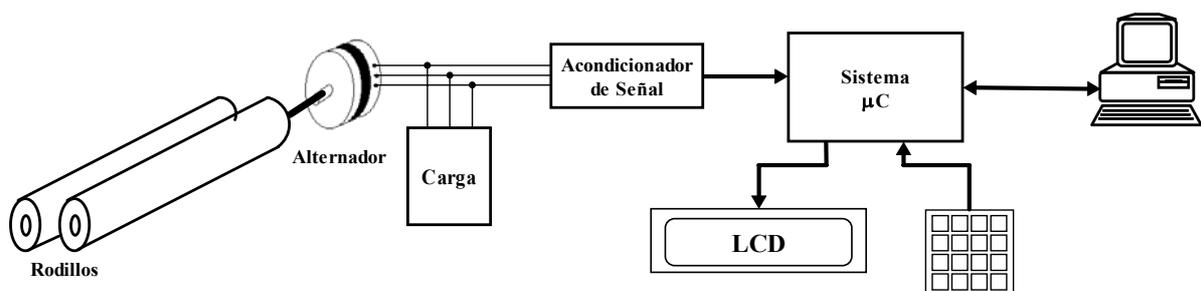
Sin embargo, todavía no se comercializa ningún equipo ergométrico para sillas de ruedas, que reúna una serie de características tales como:

- Accesibilidad autónoma para deportistas discapacitados.
- Modos de funcionamiento a par constante, a potencia constante y a velocidad constante.
- Medición precisa de la velocidad, el par, la potencia y la frecuencia cardiaca de forma integrada.
- Comunicación con PC para control, almacenamiento y tratamiento de datos en entorno amigable.
- Coste razonable.

De este modo, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar un sistema ergométrico que reuniese las mencionadas características, con el que se pudiesen realizar valoraciones fisiológicas y biomecánicas a deportistas usuarios de sillas de ruedas, reproduciendo el gesto de la competición y estando montados en sus propias sillas de ruedas.

MATERIAL Y MÉTODO

El diseño y construcción del ergómetro se basó en el desarrollo previo de tres subsistemas, un sistema mecánico, un sistema de control y un sistema de almacenamiento y análisis.



Esquema general del ergómetro, basado en la pareja de rodillos sobre los que apoyan las ruedas propulsoras de la silla, el alternador encargado de generar el par de frenado y el sistema microcontrolado, encargado del control y la presentación de los datos.

Sistema mecánico

El punto inicial del diseño ha sido fijar las condiciones que debe cumplir el conjunto mecánico. Teniendo en cuenta las restricciones que imponen los usuarios discapacitados, se establecieron las siguientes prioridades:

- Acceso sin ayuda externa (altura inferior a 15 cm y acceso por rampa).
- Utilización de la propia silla del deportista (cualquier tipo de silla).
- Transportable (desmontable y ligero).
- Coste razonable.

Formado por un bastidor de aluminio, un par de rodillos de acero, una serie de anclajes y un sistema electromecánico (alternador) de frenado, la solución se basó en un bastidor rectangular de perfiles de aluminio de alta resistencia, como elemento estructural para soportar la pareja de rodillos, las plataformas de soporte, las rampas de acceso y la electrónica de potencia. El conjunto se completó con cojinetes y soportes de hierro, carenados y rampas de aluminio y diferentes tipos de anclajes para las sillas.

Sistema de control

El sistema de control consta de dos partes fundamentales: Un transductor y un sistema microcontrolado.

Un transductor, alternador trifásico empleado en automoción, adaptado a las necesidades concretas del ergómetro, cuya función es aplicar el par resistente y generar la señal para el sistema de medida. La corriente del inductor se utiliza para controlar, en lazo cerrado, las condiciones de los diferentes modos de funcionamiento.

Un sistema basado en un microcontrolador de altas prestaciones que integra la mayor parte de los subsistemas necesarios (ADC, temporizadores, control de interrupciones, comunicaciones, y control de periféricos).

El procesamiento se realiza en tiempo real muestreando las señales a una frecuencia máxima de 1KHz, integrando los datos para actualizar el valor de la potencia entregada y la velocidad conseguida cada segundo.

También se ha incluido la medición de la frecuencia cardíaca, integrando en el sistema la presentación simultánea de los tres parámetros biomecánicos: potencia (W), velocidad (m/s) y frecuencia cardíaca (latidos/min).

La configuración de las condiciones se realizan mediante un teclado de 16 teclas y un presentador alfanumérico LCD, en un entorno amigable guiado por menús.

Algunas de las características del sistema son:

Potencia:	rango de	1 a 500 W
	resolución	1 W.

Velocidad:	rango de	0.1 a 11 m/s.
	resolución	0,1 m/s.
FC:	rango de	50 a 240 lat/min.
	resolución	1 lat/min.

Los valores adquiridos son enviados por un puerto serie RS-232 y pueden ser leídos por un PC para su almacenamiento en un fichero y su análisis, tanto en tiempo real como "off line"

Sistema de almacenamiento y análisis

Es el sistema encargado de gestionar los datos capturados, tratarlos, representarlos y almacenarlos para el posterior análisis.

La comunicación serie con el PC ha permitido implementar (en una primera fase de desarrollo) la adquisición, representación y almacenamiento de los datos. Un programa realizado en entorno Visual recoge los valores medidos de potencia, velocidad y frecuencia cardiaca, representándolos en pantalla al mismo tiempo que se almacenan en un fichero de texto, junto con otros datos relevantes, usuario, fecha, hora, tipo de protocolo, etc. que son solicitados al usuario al inicio de la sesión. El formato elegido para el archivo es de texto ASCII, de tal forma que pueda ser importado por aplicaciones informáticas habituales como Excel o Statgraphics.

Modos de funcionamiento

El sistema permite tres modos de funcionamiento, de acuerdo a cuales sean las variables se quieran establecer como fijas, y cuales sean las variables que quieran medirse.

Par constante: En este modo, se ajusta un par resistente determinado que se mantendrá fijo y será independiente de la velocidad y la potencia entregada por el usuario. El comportamiento es similar al de un ergómetro con freno por fricción.

Potencia constante: El deportista deberá entregar un valor constante de potencia prefijado por el investigador. Para ello, el sistema de control mide continuamente el valor entregado de potencia y ajusta el par resistente, aumentándolo si la potencia es demasiado baja y disminuyéndolo si esta es muy alta, para que se entregue la potencia deseada.

Velocidad constante: En este modo, se establece una velocidad determinada y el sistema modifica el par resistente para obligar al deportista a mantener esa velocidad. Si la velocidad es excesivamente baja, el par se reduce hasta que se alcance el valor prefijado y viceversa.

RESULTADOS

En estos momentos se dispone de un prototipo de ergómetro en el cual se ha comprobado el cumplimiento de las especificaciones, se han ensayado los distintos modos de funcionamiento y se ha estudiado la estabilidad del sistema y la fiabilidad de las medidas realizadas.

La comunicación serie con el PC se ha implementado de forma básica, permitiendo la adquisición y representación de los datos, sin mayores herramientas de análisis ni gestión de usuarios, elementos que se pretenden completar en la siguiente fase del proyecto.

Del mismo modo, se está trabajando en el desarrollo de un subsistema de simulación de la inercia, que permita reproducir el comportamiento de un deportista rodando sobre su silla, tanto durante las fases de aceleración, como para las de mantenimiento de la velocidad de traslación.

El paso final corresponderá a la comparación y calibración de las medidas, mediante el análisis de las valoraciones realizadas sobre el ergómetro frente a valoraciones realizadas en la pista de atletismo, manipulando variables independientes como la velocidad de desplazamiento, el par resistente y la potencia, y midiendo el resultado en variables como la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno o la producción de lactato.

CONCLUSIONES

En primer lugar, se ha podido comprobar que con tecnología de fácil disponibilidad y coste reducido, es posible construir un sistema ergométrico de alta calidad y prestaciones, que permita acercar técnicas de valoración y entrenamiento, basadas en nuevas tecnologías, a las personas con discapacidad motora.

Cabe destacar que este desarrollo ha sido posible gracias al trabajo multidisciplinar de las áreas de Educación Física y Deportiva y de Tecnología Electrónica, de la Universidad de Valencia, como respuesta a la idea de la Federación de Deportes Adaptados de la Comunidad Valenciana (FESA) quien ha conseguido, además, los medios económicos para financiarlo.

En segundo lugar, este desarrollo novedoso ofrece un núcleo base sólido sobre el que construir un entorno de valoración y entrenamiento cuya utilidad dependerá fundamentalmente de los programas informáticos que le acompañen. El estudio de

los posibles modos de control, la protocolización de los diferentes tests y otros esfuerzos de abstracción resultarán en nuevas posibilidades y un mayor nivel de eficiencia y aplicabilidad del equipo.

Entre los desarrollos inmediatos, se prevé dotar al sistema de un entorno de programación amigable y sencillo, que permita diseñar protocolos propios, almacenarlos y modificarlos, y aplicarlos a la valoración de diferentes sujetos, cuyos datos de valoración podrían, a su vez, ser almacenados en el sistema para la confección de un histórico personal, en el que podría visualizarse gráficamente las mejoras debidas al entrenamiento o a otros factores.

Finalmente, este desarrollo podría convertirse en una valiosa herramienta, no sólo para quienes entrenen o pretendan valorar deportistas de rendimiento, sino para todos aquellos centros en donde se lleven a cabo tareas de rehabilitación y valoración funcional de personas discapacitadas, usuarios de sillas de ruedas.

BIBLIOGRAFÍA

Cooper, R.A. (1989) Simulating wheelchair racing. En: Proceedings of the 12th Annual RESNA Conference: 450-451. Washington DC. RESNAPRESS.

Forchheimer, F.; Lundberg, A. (1986) Wheelchair ergometer: Development of a prototype with electronic braking. Scand. J. Rehabil. Med. 18, 2: 59-63

Ghelsen, G.; Davis, R.; Bahamonde, R. (1990) Intermittent velocity and wheelchair performance characteristics. Adapted Physical Activity Quarterly, 7: 219-230.

Goosey, V.; Campbell, I. (1998) Pushing economy and propulsion technique of wheelchair racers at three speeds. Adapted Physical Activity Quarterly, 15: 36-50.

Niesing, R.F.; Eijskoot, F.; Kranse, R. y cols. (1990) A computer controlled wheelchair ergometer. Med. Biol. Eng. Comput. 28: 329-338.

Thacker, J.G.; O'Reagen J.R.; Aylor, J.H. (1980) A wheelchair dynamometer. Trans. ASME. 102: 718-722

Vanlandenwijck, Y; Theisen, D.; Daly, D. (2001) Wheelchair propulsion biomechanics. Implication for wheelchair sports. Sports Med. 31, 5: 339-367.