

Núm. Orden: 0002

Título: "Sistema de rehabilitación y entrenamiento para usuarios de sillas de ruedas y deportistas adaptados"

Autores: Julio Martos Torres, Gabriel Brizuela Costa y Enrique Sanchis Peris

Procedencia: Valencia (Universitat de Valencia)

Correo: julio.martos@uv.es

INTRODUCCIÓN

En el ámbito del deporte adaptado, y más concretamente en el de los deportistas usuarios de sillas de rueda, es muy difícil poder llevar a cabo valoraciones funcionales o biomecánicas de laboratorio, debido fundamentalmente a la falta de ergómetros que reproduzcan el gesto de la propulsión en la silla.

Un ergómetro para sillas, de cuidado diseño y basado en componentes electrónicos de alta tecnología, permitiría extender su uso a la valoración de variables relevantes como la máxima potencia mecánica que es capaz de entregar un deportista adaptado, montado en su propia silla, o incluso el nivel de potencia que es capaz de mantener durante el transcurso de su prueba, sin alcanzar determinados niveles de lactacidemia.

El presente estudio, se llevó a cabo entre la Universidad de Valencia (Departamentos de Ingeniería Electrónica y de Educación Física y Deportiva) y la Federació d'Esports Adaptats de la Comunitat Valenciana, con el objetivo de desarrollar un sistema ergométrico en el que se pudiesen realizar valoraciones fisiológicas y biomecánicas a deportistas usuarios de sillas de ruedas, reproduciendo el gesto de la competición.

Las características que debería reunir el sistema serían:

- Acceso y utilización facilitada para deportistas discapacitados.
- Elevada precisión.
- Modos de entrenamiento y de valoración programables.
- Modularidad y escalabilidad en su desarrollo y su posible comercialización.
- Comunicación con PC.
- Entorno amigable de almacenamiento y análisis de datos.
- Coste razonable.

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 potenciales y las facilidades de uso que se desean, se establecieron las siguientes características:

- Utilización de la propia silla del deportista.
- Aceptación de todo tipo de sillas de ruedas.
- Peso ligero.
- Altura no superior a 15 cm.
- Acceso sin ayuda externa.
- Fácil transporte y montaje.

- Coste razonable.

El diseño elegido ha utilizado como material estructural perfiles de aluminio de alta resistencia, cojinetes y soportes estándar, carenados y rampas de aluminio, anclajes de las sillas adaptables de tipo "click", consola de control desplazable.

CONTROL ELECTRÓNICO

El sistema electrónico consta de dos partes bien diferenciadas, el transductor y el sistema de control.

El transductor elegido es un alternador trifásico empleado en automoción, adaptado a las necesidades concretas del ergómetro. Las funciones que realiza éste son aplicar el par resistente y generar las señales para el sistema de medida. La corriente del inductor se utiliza para controlar, en lazo cerrado, las condiciones deseadas de los tests.

El sistema de control está 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). Un pequeño circuito externo conformador de señal es necesario para adaptar las señales obtenidas del alternador a los niveles necesarios para el microcontrolador.

El procesamiento se realiza en tiempo real muestreando las señales a una frecuencia máxima de 1KHz. Por programa se realiza la integración de 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 cardiaca, integrando en el sistema la presentación simultánea de los tres parámetros biomecánicos potencia (W), velocidad (m/s) y frecuencia cardiaca, FC (latidos/min).

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

El procesamiento se ha dividido en tres bloques lógicos comunicados por variables compartidas:

- Presentación (teclado, menús y comunicación serie).
- Adquisición (potencia, velocidad, frecuencia cardiaca).
- Control del par resistente (corriente de excitación).

Por programa, se ha dotado al sistema de un reloj interno y un conjunto de rutinas de fijación de alarmas que permitan ser usadas para programar periodos de prueba a voluntad del usuario, en dichos periodos se pueden variar las condiciones del test de forma automática con el objetivo de poder diseñar sesiones de entrenamiento o rehabilitación de perfiles diversos.

Las características del sistema son:

Potencia:	rango de	1 a 500 W.
	resolución	1 W.
	precisión	0.1 W.
Velocidad:	rango de	0.1 a 11 m/s.
	resolución	0,1 m/s.
	precisión	0.05 m/s.

FC:	rango de resolución	50 a 240 lat/s.
	precisión	1 lat/s.
		0.1 lat/s.
Reloj:	rango de resolución	1 a 256 min.
	precisión	2 min.
		1ms.

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 análisis.

MODOS DE TRABAJO

Se han diseñado tres modos de trabajo básicos:

- A potencia constante.
- A velocidad constante.
- A par constante.

Estos tres modos básicos pueden ser combinados de forma flexible durante periodos de tiempo variables obteniendo perfiles de trabajo sofisticados y adaptados a cualquier usuario.

El modo a potencia constante pide, durante su configuración, el valor de potencia que se desea entregue el usuario durante el periodo de prueba. Una vez iniciado el tiempo de test, el sistema de control mide continuamente la potencia entregada y ajusta el par resistente para que se entregue dicha potencia independientemente de la velocidad que imprima el usuario. Si no se alcanza el valor de potencia fijado, el sistema de control aumenta el par resistente, intentando que para la velocidad actual se entregue la potencia deseada. En el caso contrario, el usuario entrega más potencia de la fijada, se disminuye el par resistente. Si se elige el modo a velocidad constante, el sistema disminuye el par si la velocidad conseguida es inferior a la fijada y, por el contrario, aumenta el par cuando se intenta alcanzar una velocidad mayor.

En el modo a par constante, el par resistente no cambia para cualquier velocidad y potencia que el usuario pueda conseguir.

Para cualquiera de los modos, en pantalla se presenta constantemente los valores reales de las tres variables medidas, se ajusten o no a las preseleccionadas.

El cambio entre un modo y otro de funcionamiento, o entre diferentes valores dentro del mismo modo, se puede realizar en cualquier momento y puede estar sincronizado con periodos de tiempo programados en el reloj interno, lo que posibilita el diseño de protocolos de entrenamiento variados.

RESULTADOS

En estos momentos se dispone de un prototipo en el cual se ha verificado el correcto funcionamiento de las funcionalidades descritas en los apartados anteriores. Se han ensayado los distintos modos de funcionamiento y se ha estudiado la estabilidad del sistema y la fiabilidad de las medidas realizadas, tanto desde el punto de vista subjetivo del usuario como en comparación con otras máquinas de referencia (Monark), obteniendo resultados

sin desviaciones significativas respecto de los valores considerados de referencia. Hay que tener en cuenta que el sistema desarrollado no realiza estimación alguna de la potencia disipada por pérdidas aerodinámicas, fricción entre las diferentes partes móviles, etc. Es decir, simplemente mide y presenta los valores objetivos disponibles en los rodillos. En fases posteriores se estudiará la conveniencia de incluir estimaciones de dichas pérdidas, realizando la calibración que fuese necesaria.

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

CONCLUSIONES

En primer lugar, debe destacarse que con tecnologías de fácil disponibilidad y coste reducido, es posible diseñar y 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 discapacidades motoras.

En segundo lugar, este nuevo desarrollo ofrece un núcleo base sólido sobre el que construir un entorno de valoración y entrenamiento cuyas funcionalidades dependen de los programas que se diseñen más que del equipo físico. El estudio de los posibles modos de control, de la protocolización de 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 (por ejemplo incrementales o continuos), almacenarlos y modificarlos cuantas veces se quiera 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, queremos destacar que mediante el presente trabajo evidencia el hecho de que el trabajo multidisciplinar, en este caso involucrando áreas como la Tecnología Electrónica y la Educación Física y Deportiva, puede ofrecer resultados muy satisfactorios dentro del ámbito de las Ciencias del Deporte.

REFERENCIAS

Spooren, P., *The technical characteristics of the wheelchair racing*, SPORT'S SPOKES Non-Dec 1981 pag. 19-20

Hiss, C., *Propulsion of racing wheelchairs*, Olympic Scientific Congress, Eugene 1984 pag. 165-172

Cooper, R. A., *Wheelchair racing sport science: a review*, Journal of Rehabilitation Research and Development, 1990 Vol. 27 pag. 295-312

Goosey, V. et al., *A kinematic analysis of wheelchai propulsion techniques in senior male, senior female and junior athletes*, Human Kinematics Publishers 1997 pag. 156-165

Ghelsen, G. et al., *Intermittent velocity and wheelchair performance characteristics*, Human Kinematics Publishers 1997 pag. 219-230

Van der Woude, L. H. v. Et al., *Propulsión technique and anaerobic work capacity elite wheelchair athletes*, American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 1998 Vol. 77 pag. 222-234

Vanlandewijck, Y. et al., *Wheelchair propulsion biomechanics: implications for wheelchair sports*, Sport-Medicine 2001 pag. 339-367