



Secretaría General para el Deporte
Instituto Andaluz del Deporte

DOCUMENTACIÓN

200607401

PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES FÍSICO- DEPORTIVAS PARA DISCAPACITADOS FÍSICOS Y PSÍQUICOS

Atletismo en silla de ruedas: optimización del rendimiento

MIGUEL POLO RUBIO
Licenciado en Educación Física
GABRIEL BRIZUELA COSTA
Profesor titular de la FCAFE de Valencia

Sevilla
Del 26 al 28 de octubre de 2006

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

1. 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 dichos aspectos; además se debe trabajar continuamente en la optimización de pequeños detalles que marcan la diferencia entre el mayor éxito o una buena clasificación.

La valoración del rendimiento del motor humano es fundamental, y 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 a aquellos elementos relacionados con la eficiencia mecánica, es decir, con el aprovechamiento de la energía mecánica que es capaz de producir el motor humano, gran parte de la cual se pierde, y otra pequeña parte consigue transmitirse a las ruedas y propulsar al atleta.

Sin embargo, apenas existen datos científicos en el ámbito del atletismo en silla de ruedas. Es contradictorio el hecho de que el deporte adaptado cada vez sea más conocido y practicado, entre otros el atletismo adaptado, y no se trate con mucha más profundidad. Apenas existe literatura que dé información, estudie o profundice en este tema, aunque en los diez últimos años haya aumentado la investigación.

La valoración biomecánica y funcional de los atletas en silla de ruedas ha estado siempre condicionada por la falta de métodos e instrumentos específicos, por lo que aún hoy en día son casi nulas las referencias que aporten datos o modelos con los cuales comparar las principales variables que determinan el rendimiento deportivo del atleta en silla de ruedas que pretendemos apoyar.

Un elemento que dificulta aún más el intento de mejorar el rendimiento de un atleta en silla de ruedas, al intentar comparar su efectividad mecánica, por ejemplo con los deportistas del máximo nivel, es que aun perteneciendo a la misma categoría de competición, las discapacidades o los niveles de disfunción nunca son idénticos y pueden afectar precisamente a variables fundamentales, como la impulsión sobre el aro de propulsión o el control de la posición del tronco, en el caso del atletismo en silla de ruedas.

De este modo, al abordar el apoyo científico a un deportista con discapacidad, en este caso un atleta en silla de ruedas, el primer paso puede suponer una valoración inicial compleja, basada en el trabajo de otros investigadores, aunque siempre es obligado estudiar aquellas variables que se ven afectadas por las características individuales del deportista en cuestión o que todavía no han sido investigadas. Esto supone tener que comenzar con una investigación muy básica e individualizada.

2. VALORACIÓN BIOMECÁNICA Y FUNCIONAL DE LOS DEPORTISTAS EN SILLA DE RUEDAS

Para valorar la condición física de un deportista en silla de ruedas y poder asesorarle en su preparación, es necesario llevar a cabo una serie de pruebas desde diferentes perspectivas, incluyendo normalmente tanto aspectos fisiológicos como biomecánicos.

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

En función de los objetivos de los diferentes estudios, para la valoración de los deportistas en silla de ruedas se han utilizado diferentes pruebas de valoración, entre las que cabe destacar el análisis cinemático y electromiográfico, la medición de la capacidad de trabajo, la evaluación de la eficiencia del conjunto atleta-silla de ruedas, la medición de las fuerzas aplicadas y la evaluación de la carga mecánica sobre las extremidades superiores.

El siguiente paso es determinar en qué sitio se lleva a cabo la experimentación, y las alternativas son el campo (la pista) o el laboratorio:

En la pista de atletismo se cuenta con condiciones reales e idénticas a las de la competición, sin embargo es muy complicado controlar las condiciones experimentales (por ejemplo el viento puede estar presente) y puede reducirse la fiabilidad de las pruebas. Sin embargo, la validez de estos resultados será la más alta, por lo que se podrán extrapolar al entrenamiento con mayor facilidad. Este tipo de estudios son los que mejor reproducen la realidad.

En laboratorio se debe recurrir a la utilización de algún tipo de ergómetro o de tapiz rodante, donde el deportista pueda reproducir su gesto deportivo. En este caso la fiabilidad de los resultados aumenta, pero lo que se puede reducir, en mayor o menor grado, será la validez de los resultados, ya que lo que se está valorando no es exactamente a un atleta rodando con la silla de ruedas por la pista, sino una simulación en el laboratorio. La evaluación en el laboratorio debe considerarse una ayuda para el entrenamiento, una información complementaria que confirme la información ya disponible acerca de rendimientos reales y observaciones sobre el terreno. Los instrumentos de valoración que se utilizan en las pruebas de laboratorio son los siguientes:

- Tapices rodantes adaptados
- Ergómetros de manivela para los miembros superiores
- Ergómetros de silla de ruedas con freno mecánico o electromagnético
- Simulador de silla de ruedas
- Sillas equipadas con ruedas instrumentadas 3D

Por último, cabe señalar que en todos los aparatos anteriores se puede utilizar una silla con las ruedas instrumentadas, de tal modo que en esos casos será posible el estudio tridimensional de las fuerzas de propulsión, así como de la frecuencia de propulsión, el tiempo de empuje, etc.

2.1. La investigación en el deporte adaptado

La investigación en el deporte adaptado se desarrolló fundamentalmente en EEUU y Europa, a partir de la década de 1930, desarrollándose principalmente las líneas de investigación relacionadas con la medicina y la rehabilitación; sin embargo, el estudio del rendimiento deportivo es un área de investigación relativamente nueva que surgió a partir de los años 70.

La investigación en el deporte adaptado tiene algunas particularidades metodológicas que la hacen muy compleja y que se deben tener en cuenta tanto a la hora de generar investigación como a la hora de interpretar los resultados obtenidos.

Uno de los principales problemas con que se encuentra el investigador en deporte adaptado es la disponibilidad de una cantidad suficiente de personas con discapacidad como muestra. Además, esas personas con discapacidad deberían tener, no

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

sólo el mismo diagnóstico médico, sino también el mismo grado de afectación de su patología, las mismas regiones corporales afectadas, discapacidades secundarias, etc. En el caso de que fueran deportistas, deberían tener también el mismo nivel de especialización deportiva y de condición física. De lo contrario, no sería raro observar durante la recolección de los datos grandes variaciones que harían que las desviaciones estándar se volvieran enormes, con lo que la generalización de los hallazgos podría verse afectada.

Otro problema que afecta al tamaño final de la muestra es el porcentaje de abandono de las personas con discapacidad en estudios de entrenamiento y práctica deportiva. Por ello, y debido a la poca disponibilidad de utilización de grandes muestras, se deben encontrar métodos de investigación alternativos, como son los diseños de un solo sujeto o el estudio de casos.

2.2. Fisiología del ejercicio en los deportes en silla de ruedas

El estudio de la fisiología del ejercicio en silla de ruedas no sólo está obstaculizado por la gran variedad de métodos de investigación, sino también por la heterogeneidad de la población discapacitada. Por este motivo muchas investigaciones en este ámbito se realizan con sujetos sin discapacidad o con grupos formados por sujetos que difieren en grado de discapacidad, deporte de procedencia, nivel de entrenamiento, etc. (Woude y cols., 2000).

Al igual que ocurre con el ejercicio de piernas, en la valoración de la población deportiva en silla de ruedas se realizan tanto pruebas aeróbicas máximas como anaeróbicas; sin embargo, la gran variabilidad de este tipo de población obliga a que las pruebas sean flexibles y provoca que estén poco estandarizadas.

Valoración del metabolismo aerobio en deportistas en silla de ruedas

En la valoración del metabolismo aerobio de deportistas en silla de ruedas, los valores de potencia máxima desarrollada ($W_{m\acute{a}x}$) varían según la discapacidad de los sujetos entre 20W (sujetos con lesión medular alta o parálisis cerebral) y 100 W (sujetos con menor grado de discapacidad, amputados o con lesión medular baja). Los valores de consumo máximo de oxígeno ($VO_2m\acute{a}x$) oscilan entre menos de 1 l/min hasta más de 3 l/min (Woude y cols., 2000). Debe añadirse que algunas variaciones en los valores de potencia desarrollada pueden ser debidas al tipo de instrumento de medida utilizado (ergómetro de manivela, ergómetro específico de silla de ruedas, etc.), o al tipo de prueba física realizada.

Cabe destacar que tanto el consumo máximo de oxígeno ($VO_2m\acute{a}x$) como la potencia máxima desarrollada por los deportistas paralímpicos en silla de ruedas varían según el deporte practicado. Los deportistas con mayores consumos máximos de oxígeno suelen ser los corredores en silla de ruedas de pista y carretera con discapacidades menos severas, que alcanzan valores de hasta $VO_2m\acute{a}x$: 2,86 l/min y 44,9 ml/kg/min. Por el contrario, los deportistas que presentan menor consumo máximo de oxígeno suelen ser los tiradores al plato, con valores de $VO_2m\acute{a}x$: 1,32 l/min y 16,3 ml/kg/min. Finalmente, destacar que las mayores potencias desarrolladas durante pruebas de valoración del metabolismo aerobio fueron medidas en jugadores de baloncesto en silla, $W_{m\acute{a}x}$: 96,8W (Veeger y cols., 1991).

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

Valoración del metabolismo anaerobio en deportistas en silla de ruedas

En la valoración del metabolismo anaerobio en deportistas en silla de ruedas también ocurre que existe una gran variabilidad entre los diferentes estudios, debido no solamente a la heterogeneidad de la población (valores menores en sujetos con parálisis cerebral o lesión medular alta), sino también al tipo de instrumento de medida utilizado (valores mayores con ergómetros de manivela que con ergómetros de silla de ruedas) y al protocolo empleado. Normalmente se calcula la potencia media desarrollada en un sprint máximo de 30s y/o de 5s. Los valores medios de potencia máxima desarrollada en una prueba de valoración del metabolismo anaerobio de este tipo no exceden los 200W (Woude y cols., 2000)

Podría concluirse que la capacidad de trabajo es muy variable entre los deportistas en silla de ruedas de elite, dependiendo fundamentalmente de la discapacidad y la disciplina deportiva, y está fuertemente condicionada por su clase funcional, las horas de entrenamiento y el sexo del atleta.

A modo de ejemplo, la producción de potencia máxima durante una prueba de esfuerzo para una persona con tetraplejía puede ser de hasta unos 50W, mientras que puede alcanzar los 120W en personas parapléjicas (Figón, 1992).

Se ha observado que en atletas parapléjicos el nivel neurológico de la lesión influye mucho en su rendimiento físico, y que quienes mejores adaptaciones al ejercicio presentan son los lesionados medulares torácicos bajos (Bernat y cols., 1999, 2000).

Comparando cómo influyen varios tipos de discapacidad en la respuesta cardíaca durante el ejercicio, se han observado diferencias de hasta 12 pulsaciones por minuto (ppm) en función del tipo de discapacidad (Barfield y cols., 2005).

Diferencias en la respuesta fisiológica al ejercicio entre personas con discapacidad y personas sin discapacidad

En cuanto a las diferencias en la respuesta fisiológica al ejercicio entre personas con discapacidad y personas sin discapacidad, se ha observado que en personas con enfermedades neuromusculares el efecto del entrenamiento sobre las adaptaciones al ejercicio no fue diferente al de los sujetos sanos con el mismo entrenamiento (Florence y Hagberg, 1984).

En el mismo sentido, Vinet y cols., (1997) señalan que los valores absolutos correspondientes al umbral ventilatorio obtenidos con los atletas parapléjicos con lesión medular son comparables con los obtenidos durante el mismo ejercicio por personas sin discapacidad.

Sin embargo, autores como Bhambhani (2002) señalan que los atletas con lesión medular tiene cambios únicos en los sistemas cardiorrespiratorio, metabólico, neuromuscular y termorregulador que reducen su capacidad fisiológica total, en contraste con personas con otras discapacidades como por ejemplo los amputados, que no hacen frente a tales limitaciones inherentes.

Las principales diferencias en la respuesta fisiológica al ejercicio entre personas con lesión medular y personas sin discapacidad podrían resumirse en que los corredores con lesión medular tienen afectada la capacidad de termorregulación y por ello son más susceptibles de sufrir las consecuencias de los riesgos por calor que las personas sin discapacidad, y que los corredores con lesión medular obtienen menores valores de VO_2 máx durante el ejercicio incremental debido a alteraciones en los factores centrales

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

y periféricos que determinan el VO_2 ; sin embargo sí que se observa una relación lineal entre la frecuencia cardiaca y el VO_2 en personas con lesión medular similar a la que se observa en personas sin discapacidad. Además, la pendiente entre el porcentaje de frecuencia cardiaca y el porcentaje de VO_2 tampoco es significativamente diferente entre personas con lesión medular y personas sin discapacidad.

2.3. Biomecánica aplicada a los deportes en silla de ruedas

Inicialmente la investigación en los deportes en silla de ruedas partía de un punto de vista mecánico, centrándose en los materiales, durabilidad y seguridad de las sillas de ruedas. Posteriormente el interés se centró en investigar desde una perspectiva fisiológica la propulsión en silla de ruedas, y más recientemente las investigaciones se centran en aspectos biomecánicos (Woude y cols., 2000).

En las últimas décadas ha ido en aumento la aplicación de la Biomecánica a los deportes en silla de ruedas, centrándose principalmente en dos grandes áreas:

- La prevención de lesiones, motivado por el hecho de que la propulsión en silla de ruedas supone una gran carga para las extremidades superiores, lo que se relaciona con lesiones de los brazos y los hombros.
- La mejora del rendimiento deportivo.

El estudio del rendimiento de los atletas en silla de ruedas puede abordarse atendiendo a tres elementos básicos, cuya combinación resulta crucial:

- El atleta: quien produce la energía en forma de potencia de propulsión, o, expresado en términos mecánicos, el *motor humano*.
- La silla de ruedas: el elemento que demanda la potencia en función de sus características técnicas, de sus componentes y del rendimiento que se le exige.
- La interacción atleta-silla: la relación entre la energía que genera el *motor humano* y el resultado que se obtiene en términos de rendimiento o de velocidad de desplazamiento.

De estos tres elementos, ya se ha estudiado al atleta, por lo que queda abordar el estudio de los otros dos elementos, la silla de ruedas y la interacción atleta-silla.

Las sillas de ruedas

Existen muchos tipos de silla de ruedas: manuales, eléctricas, a motor, etc. Centrándose en las manuales, se puede observar que también existen de varios modelos, que se diferencian unas de otras por el tipo de uso que se les va a dar (ocasional, habitual, específico, etc.) y el tipo de usuario que las va a necesitar (adulto o niño, con mayor o menor grado de discapacidad, etc.).

Además, unas permiten más ajustes que otras, son más estables, manejables, ligeras, rígidas, están mejor acabadas, disponen de más accesorios, son más fáciles de transportar y almacenar, permiten montar y salir de la silla con más facilidad, etc., lo que pone de manifiesto la diversidad de modelos que se pueden encontrar: de transporte, estándar, ligeras, ultraligeras, de titanio, plegables, reclinables, resistentes, inclinables, pediátricas, todo terreno y deportivas.

Sillas de ruedas deportivas

Cada deporte en silla de ruedas, como por ejemplo el baloncesto en silla de ruedas, el hockey en silla de ruedas, el tenis en silla de ruedas, el quad-rugby, etc., tiene

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

su propio tipo de silla de ruedas. En el atletismo en silla de ruedas existen sillas especiales para lanzamientos y otras para carreras.

Una buena silla de carreras está construida en aluminio y titanio, teniendo en cuenta el peso, la estatura y la envergadura del deportista. Este tipo de silla de ruedas tiene 2 ruedas traseras grandes y una rueda delantera pequeña. Cada una de las ruedas posteriores lleva montado un aro de propulsión, cuyo diámetro puede variar entre 34 y 38 cm. La longitud total de la silla de ruedas puede oscilar entre los 170 y los 200 cm. El peso de la silla de ruedas oscila alrededor de los 9 kg.

La interacción atleta-silla: la propulsión en la silla de ruedas

En las pruebas de resistencia de deportes como la natación, las carreras de fondo en atletismo (incluyendo el atletismo en silla de ruedas) o el ciclismo, existe una relación muy importante entre la eficiencia mecánica y el rendimiento deportivo que obtiene el deportista. El motor humano aporta la potencia motriz y en definitiva la fuerza que es aplicada de modo repetido al medio en el que se desplaza (normalmente el suelo, el pavimento deportivo, el agua...), bien con los pies, con las manos o con algún instrumento mecánico como una bicicleta o una silla de ruedas.

Para estudiar la calidad de los diferentes medios de propulsión, o incluso cuando se intenta optimizar el rendimiento de un deportista, se profundiza en el estudio de dos variables denominadas *eficiencia mecánica* y *economía de movimiento*.

La eficiencia mecánica se expresa como la relación entre el trabajo mecánico realizado y el gasto de energía química producido. Para ello, el trabajo mecánico se mide normalmente mediante un ergómetro o algún otro dispositivo electromecánico que permite conocer la *potencia entregada* (trabajo mecánico por unidad de tiempo). Paralelamente, el consumo energético puede medirse (en una prueba submáxima, dentro de los rangos de esfuerzo aeróbico) como el consumo de oxígeno (VO_2) mediante el análisis de los gases espirados durante el esfuerzo.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, tendrá mayor eficiencia mecánica aquel deportista que entregue más cantidad de trabajo mecánico (o mayor potencia mecánica durante un tiempo determinado) con similar o menor gasto energético (consumiendo una cantidad menor de oxígeno, si el ejercicio es aeróbico).

Si, en lugar de medir la potencia entregada, se midiese la *velocidad de desplazamiento* conseguida para un determinado gasto energético, se estaría hablando de *economía de movimiento*. Esta variable está más próxima al rendimiento real del deportista en competición, ya que mide directamente el resultado final, la velocidad que es capaz de generar o mantener corriendo, nadando o rodando en la silla de ruedas.

Queda claro que lo deseable en las pruebas de resistencia es conseguir la mayor eficiencia mecánica o economía de movimiento posibles, ya que de este modo se estará aprovechando en mayor grado la potencia y la capacidad del motor humano. Aquel deportista que consiga mayor velocidad de desplazamiento con un consumo energético similar tendrá claramente más posibilidades de triunfo.

Entrando en mayor detalle, la economía de movimiento es influenciada, en mayor o menor medida, por diferentes factores como la resistencia aerodinámica, el peso del deportista y de su equipamiento, la frecuencia de movimiento de sus segmentos corporales y algunas otras variables que, cuando se optimizan, pueden contribuir a incrementar lo que se denomina *ahorro energético*. Resulta evidente que la energía

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

gastada en vencer un excesivo rozamiento con el aire, por ejemplo, podría estar utilizándose en desplazarse a mayor velocidad o en ir más relajado.

Técnica de propulsión

La propulsión en silla de ruedas comprende una fase de empuje y una fase de recobro. Durante la fase de empuje las manos contactan con los aros sobre los que el deportista aplica la fuerza. Durante la fase de recobro las manos vuelven a su posición inicial.

El movimiento de propulsión se repite durante el tiempo con una determinada frecuencia para una determinada velocidad (si no cambian las condiciones), lo que implica que en cada embolada el atleta produce más o menos la misma cantidad de trabajo.

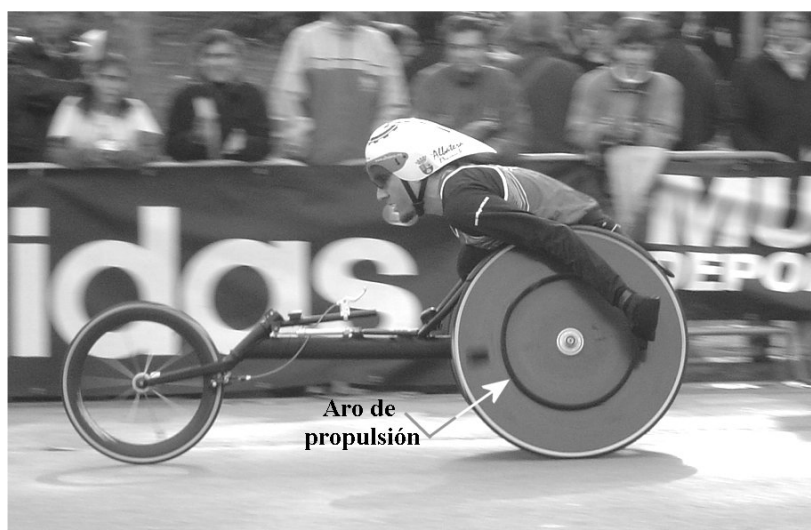
A pesar de que la técnica de propulsión es muy variable entre corredores en silla de ruedas, dependiendo de la clase funcional y las horas de entrenamiento dedicadas, se puede concluir que frecuencias de embolada menores, tiempos de empuje mayores y más cantidad de trabajo mecánico por ciclo supondrían una mejor técnica de propulsión y una mayor eficiencia mecánica (De Groot y cols., 2002).

La frecuencia de embolada ideal no es universal y varía para cada tipo de ejercicio e individuo. En general, se puede decir que las frecuencias de embolada más bajas incrementan la economía en la propulsión en silla de ruedas (Goosey y Kirk, 2003).

Para un mismo tipo de ejercicio (misma velocidad de traslación de la silla de ruedas y mismo diámetro del aro de propulsión) las cadencias más eficientes resultan ser las escogidas libremente por los deportistas (Goosey y cols., 2000).

El aro de propulsión

Según Woude y cols. (2000) en el 99% de los deportes en silla de ruedas se utilizan unos aros montados en cada una de las ruedas traseras para propulsarse.



Detalle de los aros de propulsión montados en las ruedas posteriores

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

El tamaño del aro de propulsión es en realidad la *marcha* de la silla de ruedas. Aros de propulsión más pequeños implican mayores niveles de fuerza y una velocidad menor de la mano a una velocidad de desplazamiento determinada, por tanto es lógico pensar que diferentes condiciones requerirán diferentes diámetros de aros de propulsión.

Los sujetos entrenados pueden requerir marchas que les permitan competir a altas velocidades, mientras que los sujetos de menor condición física requerirán marchas menores (Woude y cols., 2000).

A pesar de que puedan parecer fundamentales desde una perspectiva biomecánica, existen muy pocos estudios que analicen la influencia del aro de propulsión sobre la eficiencia de la propulsión y en definitiva sobre el rendimiento deportivo.

En general, una mayor velocidad de la mano (aro grande) conduce a una mayor respuesta cardiorrespiratoria. Al mismo tiempo, una mayor velocidad de la mano durante la fase de empuje conduce a una disminución en la fuerza de propulsión. Aros más grandes implican mayor esfuerzo físico y menores niveles de eficiencia (Woude y cols., 1988b).

Las evidencias apuntan a que el empleo de aros de menor radio incrementa la eficiencia mecánica (Veeger y cols., 1992). Sin embargo, si se trata de aplicar grandes pares de fuerza, por ejemplo para subir cuestas o producir rápidos incrementos de velocidad, un incremento del tamaño del aro de propulsión resulta más ventajoso (Morrow y cols., 2003).

La elección del diámetro del aro dependerá del tipo de prueba y de la velocidad a desarrollar (Veeger y cols., 1992).

Los aros de propulsión pueden ser de aluminio, acero, titanio, etc. y en las sillas de ruedas de carreras se suelen recubrir por ejemplo con neumáticos reciclados (tubulares, cubiertas, etc.) para que el agarre sea firme y la mano no resbale al realizar la propulsión. Con el objetivo de conseguir un mayor agarre en el empuje y una mejor aplicación de la fuerza sobre el aro de propulsión, la mayoría de los corredores en silla de ruedas utilizan unos guantes especiales adaptados a las características y/o gustos de cada corredor. La mayor o menor separación del aro de propulsión de la rueda también depende de las características o preferencias del corredor.

En las carreras en silla de ruedas es bastante frecuente que los atletas individualicen la elección del diámetro de los aros de propulsión, el diámetro del tubo del aro de propulsión y su perfil. (Woude y cols., 2000).

La optimización de la silla de ruedas

La configuración de la silla de ruedas, como por ejemplo los mecanismos de propulsión, la altura del asiento y las diferencias individuales en la técnica de propulsión, pueden afectar a la eficiencia mecánica (Brown y cols., 1990).

Según Woude y cols. (2000), aspectos como la resistencia por rodadura, las fricciones internas entre los componentes de la silla de ruedas o la resistencia del aire pueden suponer mayores o menores pérdidas de energía (necesaria para mantener una determinada velocidad de desplazamiento) en función de que la configuración de los componentes de la silla de ruedas contribuya o no a minimizar esas pérdidas. Por ejemplo, la resistencia por rodadura es menor utilizando ruedas de mayor diámetro y neumáticos de menor perfil inflados a mayor presión.

La superficie sobre la que se desarrolle la carrera en silla de ruedas también influye en la resistencia por rodadura. En una superficie que produce menor resistencia

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

por rodadura (lisa y dura) en principio, mejora el rendimiento, siempre que la resistencia por rodadura no sea tan pequeña que impida controlar bien la silla de ruedas debido a deslizamientos, etc. Esto puede ser importante a la hora de elegir la pista de atletismo más favorable para intentar batir una marca.

Camber

La gran mayoría de sillas de ruedas deportivas llevan las ruedas traseras dispuestas de forma que no están paralelas, sino que sus partes superiores están más próximas entre sí que sus partes inferiores (base). Este ángulo que forman las ruedas respecto a la vertical se denomina *camber* y otorga mayor estabilidad a la silla, fundamentalmente a la hora de girar.

Si las ruedas forman un ángulo positivo (mayor anchura en la base) la silla mantendrá mejor su dirección, será más estable y los brazos propulsarán más cerca del cuadro de la silla, por lo que además, la propulsión será más eficiente. Un ángulo negativo (menor anchura en la base) obliga a propulsar con los brazos más separados además de generar una menor estabilidad a la silla durante los giros. Generalmente se recomienda adoptar un *camber* comprendido entre los 6° y los 12° (Woude y cols., 2000).

Además del *camber*, las ruedas de las sillas de atletismo definen un segundo ángulo (visto en planta, desde arriba) que acerca la parte anterior de las dos ruedas posteriores y aleja las partes traseras. Este ángulo se denomina de *alineación de las ruedas* y tiene por objetivo facilitar el mantenimiento de la dirección recta. Un ángulo de 90° implica que las ruedas están paralelas, por lo que a menores ángulos, mayor será el efecto denominado *de cuña* y mayor será la resistencia por rodadura; sin embargo, será más fácil dirigir la silla en línea recta. Por el contrario, un ángulo mayor (próximo a 90°) genera menor resistencia por rodadura pero dificulta el control de la dirección de la silla de ruedas. La tendencia actual es a reducir la *cuña* (se recomienda un ángulo de alineación mayor de 80°), pero se hace necesario equipar la silla de ruedas de carreras con un mecanismo para el control de la dirección.

En las carreras en silla de ruedas la resistencia del aire es de lejos el factor más importante de pérdida de energía. A velocidades bajas la importancia de la resistencia del aire es menor, pero a velocidades de desplazamiento altas y/o del viento, se convierte en la principal fuente de resistencia. (Woude y cols., 2000).

Aunque se han realizado experimentos en el túnel de viento, no se han publicado recientemente artículos sobre la relación entre la postura del atleta o su técnica de propulsión y la resistencia aerodinámica. A pesar de ello, muchos avances en esta materia han sido aplicados a las carreras en silla de ruedas aprovechando el conocimiento desarrollado en otros deportes, como el ciclismo o el patinaje de velocidad.

Además de la reducción de la superficie frontal, la orientación de los segmentos corporales y la utilización de prendas ajustadas influyen en la resistencia aerodinámica total (Woude y cols., 2000).

Las pérdidas de energía debidas a la fricción interna entre los componentes de la silla de ruedas, por ejemplo los ejes de las ruedas, son despreciables mientras estén bien lubricados.

También se pueden producir pérdidas de energía durante la aplicación de las fuerzas en la fase de empuje de la propulsión, si la estructura del cuadro no es suficientemente rígida. Sin embargo, una silla excesivamente rígida puede resultar

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

incómoda si no absorbe bien los impactos. El material del cuadro (acero, aluminio, fibra de carbono, titanio, etc.) y su geometría influyen en la rigidez de la estructura de la silla de ruedas y en su capacidad de absorber impactos.

Aunque el peso del atleta-silla de ruedas influye poco en la resistencia por rodadura, es un factor muy importante cuando hay que subir cuestas (en las carreras en carretera) o acelerar rápidamente (salidas, cambios de ritmo, etc.). En ambos casos, a mayor peso del conjunto atleta-silla de ruedas, peor rendimiento. Por tanto, se deberían utilizar sillas de ruedas más ligeras.

En cuanto a la distribución del peso entre la rueda delantera y las traseras, ocurre que a mayor peso sobre la rueda delantera más estable es la silla, pero aumenta el rozamiento; por eso en las sillas de carreras el peso se distribuye aproximadamente así: un 80% sobre las ruedas traseras y un 20% sobre la delantera, lo que hace que ruede mejor que una estándar (distribución del peso al 50%) pero que sea menos estable.

Si se desplaza el centro de gravedad hacia abajo y hacia adelante, la silla gana en estabilidad pero es más difícil de manejar.

Una distancia larga entre ejes (de la rueda delantera–de las ruedas traseras) permite mantener mejor el rumbo (por eso las sillas de carreras son muy alargadas). Una distancia entre ejes corta resulta más suave y fácil de manejar (por eso las sillas de baloncesto tienden a tener esta distancia más corta).

Como se puede observar, es difícil conjugar el binomio estabilidad-propulsión, puesto que si se modifican determinados parámetros de una silla buscando mayor estabilidad, en algunos casos puede ser a costa de perder eficacia en la propulsión.

Posición del asiento

Woude y cols., (1989) estudiaron el efecto de la altura del asiento de la silla de ruedas en el sistema cardiorrespiratorio y sobre variables cinemáticas. La eficiencia mecánica bruta es mayor con alturas de asiento más bajas (flexión de codo 100 y 120°). Con alturas de asiento mayores (flexión de codo 140 y 160°) aumenta el consumo de oxígeno, y además disminuye el recorrido de empuje, lo que se traduce en una disminución del tiempo de la fase de empuje y en un menor rendimiento. En este sentido, varios investigadores (Masse y cols., 1992; Richter, 2001) observaron que una posición media-baja del asiento se correspondía con una menor frecuencia de embolada en la propulsión –debido a que la menor distancia desde el centro de la rueda al hombro aumenta el ángulo de empuje–, y por consiguiente con un mayor rendimiento.

3. BIBLIOGRAFÍA

Barfield, J.P.; Malone, L.A.; Collins, J.M.; Ruble, S.B. (2005) Disability type influences heart rate response during power wheelchair sport. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (5), 718-723.

Bernat, P.L.; Vinet, A.; Varray, A. (1999). La influencia del nivel neurológico en las adaptaciones cardiorrespiratorias en atletas parapléjicos en silla de ruedas durante el ejercicio muscular. *12º Congreso Mundial de Actividad Física Adaptada – COMAFA '99. INEFC Barcelona-Lleida*. Barcelona: INEFC

Bernart, P.L.; Mercier, J.; Varray, A.; Prefaut, C. (2000) Influence of lesion level on the cardioventilatory adaptations in paraplegic wheelchair athletes during muscular exercise. *Spinal Cord*, 38 (1), 16-25.

Planificación de actividades físico-deportivas para discapacitados físicos y psíquicos

- Bhambhani, Y. (2002). Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Medicine*, 32 (1), 23-51.
- Brown, D.D.; Knowlton, R.G.; Hamill, J.; Schneider, T.L.; Hetzler, R.K. (1990). Physiological and biomechanical differences between wheelchair-dependent and able-bodied subjects during wheelchair ergometry. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60 (3), 179-182.
- Figon, S.F. (1992). Exercise management for persons with chronic diseases and disabilities, *Spinal Cord Injury*, 30, 175-179.
- Florence, J.M.; Hagberg, J.M. (1984). Effect of training on the exercise responses of neuromuscular disease patients. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16 (5), 460-465.
- Goosey, V.L.; Campbell, I.G.; Fowler, N.E. (2000). Effect of push frequency on the economy of wheelchair racers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (1), 174-181.
- Goosey, V.L.; Kirk, J.H. (2003). Effect of push frequency and strategy variations on economy and perceived exertion during wheelchair propulsion. *European Journal of Applied Physiology*, 90 (1-2), 154-158.
- Masse, L.C.; Lamontagne, M.; O'Riain, M.D. (1992). Biomechanical analysis of wheelchair propulsion for various seating positions. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 29 (3), 12-28.
- Morrow, D.A.; Guo, L.Y.; Zhao, K.D.; Su, F.C.; An, K.N. (2003). A 2D model of wheelchair propulsion. *Disability and Rehabilitation*, 25 (4-5), 192-196.
- Richter, W.M. (2001). The effect of seat position on manual wheelchair propulsion biomechanics: a quasi-static model –based approach. *Medical Engineering and Physics*, 23 (10), 707-712.
- Veeger, H.E.; Hadj Yahned, H.; Woude, L.H.V.v.d.; Charpentier, P. (1991). Peak oxygen uptake and maximal power output of Olympic wheelchair-dependent athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (10), 1201-1209.
- Vinet, A.; Le Gallasis, D.; Bernard, P.L.; Poulain, M.; Varray, A.; Mercier, J.; Micallef, J.P. (1997). Aerobic metabolism and cardioventilatory responses in paraplegic athletes during an incremental wheelchair exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76 (5), 455-461.
- Woude, L.H.V.v.d.; Veeger, H.E.; Rozendal, R.H.; Sargeant, A.J. (1989). Seat height in handrim wheelchair propulsion. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 26 (4), 31-50.
- Woude, L.H.V.v.d.; Veeger, H.E.J.; Dallmeijer, A.J. (2000). Manual wheelchair propulsion. In: *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention* (edited by Vladimir M. Zatsiorsky), pp: 609-636.