



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat d'Infermeria i Fisioteràpia

Memòria del Treball de Fi de Grau

Influencia de la ergonomia de la silla de ruedas deportiva en el rendimiento de los atletas paralímpicos

Jara Ausens Lafuente

Grau de Fisioteràpia

Any acadèmic 2015-16

DNI de l'alumne: 18062773E

Treball tutelat per losune Salinas Bueno
Departament de Fisioteràpia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Paraules clau del treball:
Ergonomia, rendimiento, deporte, silla de ruedas.

Resumen

Desde la década de 1990, en la que las sillas de ruedas deportivas empezaron a individualizarse para cada deporte, el rendimiento de los atletas ha evolucionado enormemente. Es por ello que la intención del presente estudio es analizar esa relación con el fin de averiguar si la configuración de las sillas deportivas influye en el rendimiento.

Mediante una revisión en distintas bases de datos, se seleccionaron un total de 21 artículos. A partir de ellos se estudian las características de la silla deportiva, comunes a los deportes de cancha y las carreras, que pueden influir en el rendimiento del atleta. Además teniendo en cuenta el gran perjuicio que las lesiones van a suponer en el rendimiento, se estudia cómo prevenirlas de forma general.

En conclusión, tras el análisis de los resultados de los estudios incluidos, se demuestra que el rendimiento no está influenciado únicamente por la configuración ergonómica de la silla de ruedas, sino que son tres los factores que influyen: la silla, el atleta y la interfaz entre ambos. Los efectos de la configuración de la silla de ruedas en el rendimiento han tenido poca investigación y en algunos casos los resultados que se obtienen son inconcluyentes, lo que sí está claro es que la configuración de ésta debe ser individualizada a las características del atleta y al deporte que practica.

Abstract

Since the 1990s, when sport wheelchairs began to be individualized for each sport, athletes' performance has greatly evolved. For this reason, the purpose of this study is to analyse this relationship in order to find out if sport wheelchair configuration affects performance.

Through a review in different databases, a total of 21 articles were selected. Characteristics of the sport wheelchair, common to the court sports and wheelchair race, which can affect athlete's performance, are studied. Besides, taking into account the great harm that injuries will involve into performance, it is studied how to prevent them.

In conclusion, results suggest that performance is influenced not only by the ergonomic design of the wheelchair but there are three factors that influence it: the chair, the athlete

and the interface between them. The effects of wheelchair configuration in performance have been little researched, and in some cases, the results obtained are inconclusive, what is clear is that the configuration of wheelchairs should be individualized according to the athlete and the sport practiced.

Palabras clave

Ergonomía, rendimiento, deporte y silla de ruedas.

Introducción

Los deportes paralímpicos han evolucionado considerablemente en las últimas décadas, la variedad de deportes, así como el número de participantes en los mismos, se ha incrementado ampliamente. Este creciente número de competidores, junto a la mayor calidad de la competencia, ha fomentado el interés en los deportes en silla de ruedas trayendo consigo un aumento en la fabricación de estas sillas deportivas. Numerosas investigaciones se han atribuido a los atletas en silla de ruedas, pero muy pocas se han centrado en el papel de ésta y su interconexión con el usuario. (1)

Además, con los años las sillas de ruedas deportivas de propulsión manual han sufrido un importante desarrollo en términos de diseño. Su evolución va desde las sillas cromadas para el uso diario en los años sesenta, hasta los dispositivos actuales de alta tecnología. (2) Es de suponer que su equipamiento podría conllevar notables beneficios para el atleta, en ello reside la importancia de conocer si una configuración ergonómica de las sillas de ruedas deportivas influirá en el rendimiento de estos deportistas.

Los deportes en silla de ruedas tienen su origen tras la segunda guerra mundial, cuando Ludwig Guttman y sus compañeros los introdujeron como una herramienta para la rehabilitación en el hospital Stoke Mandeville en Inglaterra. Su desarrollo se acrecentó a partir de la necesidad de proporcionar ejercicio físico y actividades recreativas al elevado número de jóvenes lesionados tras la guerra. El éxito de Guttman con la rehabilitación de estos pacientes no tardó en difundirse a Europa y EEUU, dando lugar a la organización de competiciones y juegos para ellos. (3)

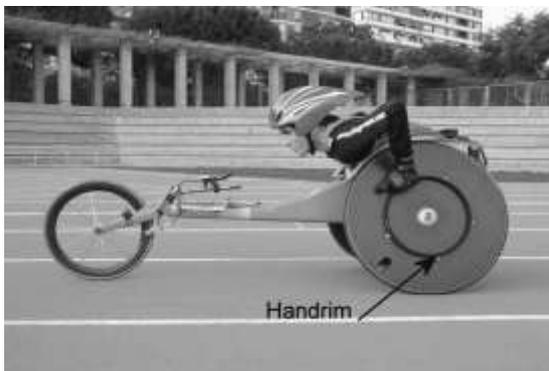
En 1960 se llevaron a cabo en Roma los primeros juegos internacionales para personas discapacitadas. El nombre de “paralímpicos” no se acuñó hasta los siguientes juegos (Tokio, 1964); celebrándose, a partir de entonces, cada 4 años. En estos primeros juegos no se competía en distancias superiores a los 200 metros. (3)



Fue en la década de 1970 cuando los atletas comenzaron a hacer sus sillas más específicas para cada deporte y empezó a desarrollarse el interés en las carreras. (3) Así pues, las sillas de competición utilizadas hasta 1980 habían sido esencialmente las mismas que se utilizaban para la movilidad cotidiana, en algunos casos con estas ligeras innovaciones (figura 1). (1) A partir de entonces comenzó el desarrollo de sillas mucho más sofisticadas, que para 1985 apenas tenían componentes en común con las sillas de ruedas cotidianas. (3)

Figura 1. Antigua silla deportiva estándar. *Fuente: Cooper R A. 1990. (3)*

La competencia y el aumento de las oportunidades para participar en los deportes paralímpicos fue lo que llevó a los atletas a colaborar con ingenieros, diseñadores y fabricantes en la creación de nuevos diseños. Esto dio lugar a cambios revolucionarios en el diseño de las sillas y al mismo tiempo alimentó la investigación sobre las adaptaciones destinadas a la mejora del rendimiento deportivo. (1)



Figuras 2 y 3. Silla deportiva de carreras actual VS sillas de carreras de los octavos juegos paralímpicos en 1988.

Fuente figura 2: Costa GB, Rubio MP, Belloch SL, Soriano PP. 2009. (4)

Fuente figura 3: Cooper R.A. 1990. (3)

Estas mejoras en el diseño de las sillas permitieron la inclusión de carreras de 1500 m para hombres y de 800 m para mujeres en los juegos paralímpicos celebrados en Los Ángeles en 1984. Desde entonces el rendimiento en las carreras ha mejorado enormemente. (5)

Año	J. Paralímpicos	Tiempo
1984	Los Ángeles	2' 26" 88
1988	Seúl	2' 00" 93
1992	Barcelona	1' 44" 83
1996	Atlanta	1' 41" 76
2000	Sídney	1' 38" 02

Tabla 1. Evolución del rendimiento de un atleta que estuvo siempre en el top 3 de los mejores tiempos jamás alcanzados en 800m, desde 1984 hasta 2000.

Fuente: Vanlandewijck Y, Theisen D, Daly D. 2001. (5)

El estudio del rendimiento es un tema complejo. Es innegable que la silla de ruedas ha evolucionado considerablemente, pero sin lugar a dudas los atletas también han mejorado su potencial físico y funcional, evolucionando desde pacientes en rehabilitación en el hospital a atletas paralímpicos de una gran talla. Es importante comprender hasta qué punto la evolución de la configuración ergonómica de las sillas influirá en el rendimiento y de qué manera se puede optimizar, para que éste pase de ser óptimo a ser máximo.

La ergonomía se entiende como el estudio de la relación entre el hombre y su entorno. En el contexto deportivo la ergonomía requiere un enfoque multidisciplinar para optimizar la interacción entre el usuario y su equipo, maximizando la eficiencia, seguridad, salud, comodidad y rendimiento. En el deporte en silla de ruedas esta optimización tiene el papel de maximizar el rendimiento sin un detrimento significativo de otras áreas, en particular la seguridad y salud del usuario. (6) A su vez, el rendimiento se define como el logro del mayor nivel de capacidad atlética minimizando el riesgo de lesiones. (1)

Actualmente, las opciones a la hora de configurar una silla de ruedas deportiva son casi infinitas. Sin embargo, los atletas basan la selección de la configuración de sus sillas en percepciones subjetivas y ensayo-error. (6–9) Esto pone en evidencia la necesidad de más investigación sobre el tema. Es por ello que el objetivo de este estudio es centrarse en los efectos de la configuración de la silla de ruedas deportiva sobre el rendimiento de los propios atletas.

Algunas de las características de las sillas de ruedas deportivas, que se utilizaban hace más de 25 años, integran las sillas que se utilizan actualmente en la movilidad cotidiana; así pues, muchos de los avances de las sillas de ruedas manuales tienen su origen en los deportes paralímpicos. (1,10) Un ejemplo son los materiales ultraligeros, utilizados ampliamente en su diseño, pero que en lugar de estar destinados a aumentar el rendimiento deportivo incrementan la independencia en las actividades de la vida diaria y reducen la tensión de las extremidades superiores. (1)

Esto conlleva que estudiar la optimización de las sillas de ruedas deportivas no solo va a beneficiar a los propios atletas, sino que también podría tener futuras repercusiones en las sillas de movilidad cotidiana.

Objetivos

El objetivo general de este estudio es conocer si una configuración ergonómica de las sillas de ruedas deportivas influye en el rendimiento de los atletas paralímpicos.

Una vez que se le ha dado respuesta a esta cuestión, se plantea, como objetivo secundario, estudiar cómo influye cada una de las características ergonómicas de la silla de ruedas, comunes a los deportes de cancha y las carreras, en el rendimiento de los atletas paralímpicos. Además, teniendo en cuenta la gran influencia que una lesión va a suponer en el rendimiento del atleta, se plantea como otro objetivo, averiguar cuáles son las lesiones más comunes y como podrían prevenirse de forma general.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

A partir de las palabras claves anteriormente propuestas (ergonomía, rendimiento, deporte y silla de ruedas) se presentan los siguientes descriptores primarios: human engineering, ergonomics, performance, wheelchair y sport. Estos descriptores se han combinado mediante los operadores booleanos AND y OR de la siguiente forma:

- (ergonomics OR human engineering) AND performance AND wheelchair AND sport

La búsqueda se llevó a cabo en un metabuscador (EBSCOhost), en cuatro bases de datos específicas (SCOPUS, Pubmed, CINHALL y SPORTdiscus) y en dos bases de datos de revisiones (Cochrane y PEDro). Se incluyeron límites de idiomas (inglés, francés y español) y límite de años (1980- 2016). Este límite es debido a que fue a partir de la década de 1980 cuando las sillas de ruedas deportivas comenzaron a evolucionar. Hasta entonces se utilizaban para competir básicamente las mismas sillas que para la movilidad cotidiana.

Resultados de la búsqueda bibliográfica

Los resultados obtenidos en la búsqueda mediante la combinación anteriormente expuesta han sido los siguientes:

- Bases de datos específicas:
 - SCOPUS: De un total de 18 artículos se han seleccionado 8 artículos.
 - SPORTdiscus: De un total de 17 artículos se seleccionan 5.
 - Pubmed: De un total de 42 artículos se seleccionan 4.
 - CINHALL: De un total de 3 artículos no se selecciona ninguno.
- Metabuscador:
 - EBSCOhost: de un total de 28 artículos no se selecciona ninguno.
- Bases de datos de revisiones:
 - Ni en Cochrane ni en PEDro se han encontrado resultados al realizar la búsqueda con la combinación de descriptores anteriormente especificados.
- Además se han seleccionado 4 artículos más; 2 de ellos a través de la bibliografía de uno de los artículos y los otros 2 recomendados, uno por Taylor & Francis y otro

por ScienceDirect, por tratar temas similares a los de los artículos a los que se ha accedido mediante sus plataformas. Estos artículos no aparecen al realizar la búsqueda mediante la combinación propuesta, esto se debe a que el descriptor “ergonomía” no es una de sus palabras claves y no aparece en el título ni en el resumen. Sin embargo, sí habla del tema a lo largo de ambos artículos.

Una vez realizada la búsqueda mediante la combinación expuesta y con los límites anteriormente nombrados, se incluyen los artículos que hacen referencia a cualquier aspecto de la ergonomía de la silla de ruedas deportiva, incluyéndose las sillas de ruedas de baloncesto, de tenis, de rugby y de carrera y excluyéndose las bicicletas de mano (handcycles o handbikes) y las sillas eléctricas, como las utilizadas en fútbol (power wheelchair soccer). Esto se debe a la mayor homogeneidad de las sillas anteriormente citadas, sobretodo en cuanto a la técnica de propulsión, así como por ser las más utilizadas en pruebas oficiales.

Por otra parte, se excluyen también aquellos artículos irrelevantes para el objetivo del estudio y sin interés para el tema de investigación, aquellos en los que se ha encontrado dificultad en la obtención de la fuente primaria, los que presentaban un déficit de calidad del estudio y aquellos que estaban repetidos y ya habían sido seleccionados en otra base de datos. Así pues, en consiguiente se han utilizado un total de 21 artículos para este estudio.

La obtención de las fuentes primarias ha sido directamente mediante el propio buscador, mediante google académico y mediante préstamo inter bibliotecario en el caso de 2 de los artículos.

El tema tratado en cada uno de los artículos, así como el tipo de publicación se presenta en la tabla anexa (ANEXO 1).

Discusión

En los últimos años se han visto importantes avances en los deportes paralímpicos en los que los niveles de rendimiento han mejorado de manera espectacular. (6)

Ha quedado ampliamente evidenciado que son tres los factores cruciales que determinan el rendimiento final en el uso de las sillas de ruedas deportivas. En primer lugar está el

atleta, que produce la energía y la potencia necesarias para la propulsión. En segundo lugar la silla de ruedas con su mecánica y condiciones técnicas. Finalmente la interacción entre ambos, que determinará la transferencia de la potencia desde el atleta a la silla. (2,6,8) Así pues, una mejora en el rendimiento necesita un enfoque multifactorial.

Los atletas deben estar bien entrenados y capacitados, con buena conciencia táctica y una técnica biomecánicamente eficaz. (1,11) En las últimas décadas ha aumentado la investigación relativa a los deportes de adaptación, haciendo más efectivo el entrenamiento y la formación de los atletas. (12) Es evidente que la mejora en los tiempos de carrera y el aumento en el ritmo de juego se deben en parte a una mejora de la comprensión y aplicación de estos programas de entrenamiento. (7,8)

Por otra parte está la interfaz entre el usuario y la silla, que desde un punto de vista metodológico es la tarea más compleja a la hora de optimizar el rendimiento. (5) Se ha demostrado que la interacción del sistema musculo-esquelético con la forma y las características del mecanismo de propulsión influye en el gasto de energía, la tensión física y la eficiencia mecánica. (2) Además, la técnica de propulsión de cada atleta, adoptando la frecuencia y el modo de propulsión que se adapte a sus necesidades, será determinante para mejorar la eficacia mecánica. (8)

La silla debe estar bien diseñada, equipada y configurada para un rendimiento deportivo óptimo. (1,4,11) Las características ergonómicas de la silla tienen un papel fundamental, la correcta configuración es esencial para compensar la disminución de la función de los atletas paralímpicos. De este modo, el equipamiento debe ajustarse perfectamente al deportista, de forma que sea una extensión de su propio cuerpo, lo que permitirá claras mejoras en el rendimiento. (1,7,11,12) La investigación ha demostrado que cambios adecuados en la configuración de la silla resultarán beneficiosos en el gasto de energía, la propulsión y la cinemática de las articulaciones. (11) Así pues, una configuración ergonómica influirá claramente en el rendimiento, pero por si solo no será suficiente para que el atleta alcance el máximo potencial.

El principio por el que se diseñan estas sillas es crear un sistema hombre-máquina eficiente en el que la persona, la silla y el trabajo que el atleta realiza, estén en estrecha coordinación. (1,12) Existen una serie de principios básicos en el diseño de las sillas de ruedas deportivas, que son universales y comunes en todos los deportes; optimizar el

ajuste de la silla para cada usuario de manera que actúen como uno solo, minimizar el peso mientras se mantiene una alta rigidez, reducir al mínimo la resistencia a la rodadura y optimizar el diseño de la silla para cada deporte específico. (1)

Una determinada configuración de la silla de ruedas no puede ser óptima para todos los aspectos del rendimiento, cada individuo necesita una configuración individualizada y personal que maximice su capacidad funcional. (6,10,13) Ésta determinará en gran medida la relación movilidad-estabilidad de la silla. Los atletas deben priorizar la movilidad o la estabilidad dependiendo de la función que cumplen en la pista. (14)

Así pues, se deben tener en cuenta la gran variedad de discapacidades dentro de los deportes en silla de ruedas, así como las diferentes necesidades que exigirá cada deporte. En algunos casos, como en el baloncesto y el rugby, se debe tener en cuenta la posición de juego de los deportistas y el papel que éstos desempeñan, que a menudo está relacionado con su capacidad funcional. (6,7,12)

Deportes como el tenis, el baloncesto y el rugby incluyen arranque, carreras de velocidad, frenado y giro, es por esto que en ellos la capacidad para acelerar rápidamente desde punto muerto se considera más importante que ser capaz de mantener la capacidad de sprint. Por el contrario, en carreras y determinadas posiciones de juego en el baloncesto o el rugby, se priorizara ser capaz de mantener esta velocidad. (8)

Existen limitadas regulaciones con respecto a las especificidades de las sillas de ruedas utilizadas en cada deporte. (6,15)

	Diámetro máximo de la rueda	Altura máxima del asiento	Ruedas principales	Ruedas adicionales permitidas
Baloncesto	0,69 m	0,63 m		Anti vuelco
Rugby	0,70m	0,53m (jugadores más afectados) y 0,58m (jugadores menos afectados)	Protección para los rayos	Anti vuelco situadas no más allá de las principales
Tenis				Pequeña rueda delantera

Tabla 2. Regulación de la configuración de las sillas en los deportes de cancha. (6)

La literatura ha demostrado que el posicionamiento del asiento, la inclinación de las ruedas traseras, el tamaño de la rueda y la configuración del aro de propulsión son algunas de las características ergonómicas que pueden influir en el rendimiento del atleta en silla de ruedas. Se han encontrado ciertas configuraciones de la silla que elevan la demanda fisiológica a la hora de la propulsión, otras se asocian con un mayor riesgo de lesión y por último, otras demuestran un rendimiento favorable. (6) Sin embargo, actualmente no existe una orientación definitiva sobre la configuración de muchos de los parámetros que se pueden ajustar, y cuando se crea una nueva silla deportiva se sabe muy poco acerca de los efectos que estos cambios puedan tener. (2,7,8) Incluso pequeñas variaciones en la configuración de la silla darán lugar a diferencias en la interacción hombre-máquina y en la mecánica de la silla, influyendo en el rendimiento e incluso en la predisposición a sufrir lesiones. (8,12,14)

A continuación se van a describir algunos de los componentes de la silla deportiva comunes a los deportes de cancha y de carrera, y cuya configuración ergonómica afecta al rendimiento. Por desgracia la mayoría de investigaciones están enfocadas a la movilidad cotidiana y tienen una serie de limitaciones metodológicas que se discutirán posteriormente.

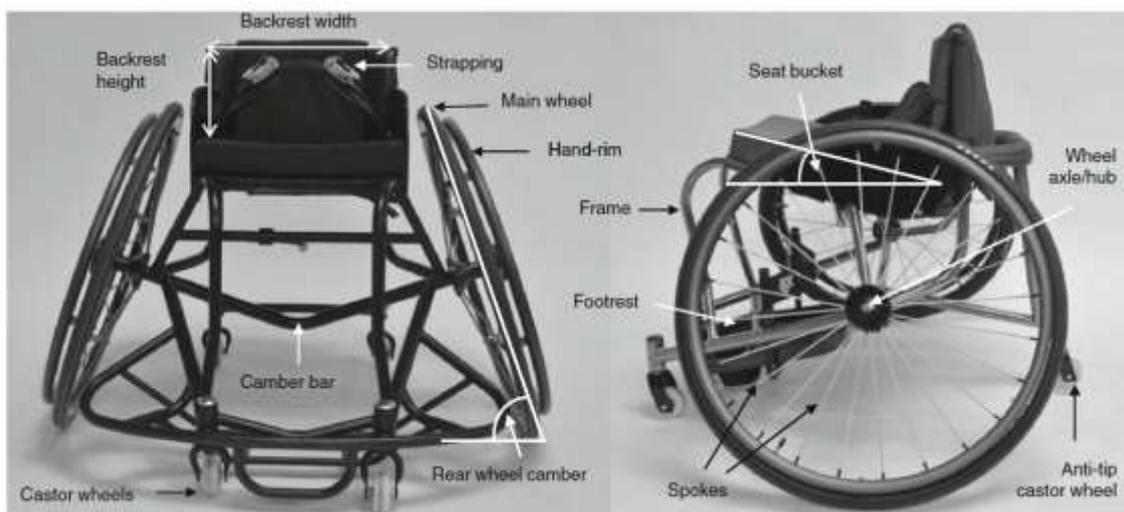


Figura 4. Vista de frente y perfil de una silla deportiva de cancha con sus principales componentes.

Fuente: Mason BS, Porcellato L, Van Der Woude LH V, Goosey-Tolfrey VL. 2010. (6)

- Asiento: Un ajuste perfecto con el cuerpo, garantizando que el respaldo soporte la columna vertebral y la pelvis, sin imponerse sobre el movimiento de la escápula y los brazos, se ha correlacionado con una mejora en el rendimiento. (1,11)

- Altura: A pesar de las considerables diferencias interindividuales que existen entre los atletas paralímpicos, con respecto a la altura del asiento, la literatura ha sugerido que el ángulo del codo debe estar entre 100° y 120° cuando el atleta está sentado en la silla, para conseguir una eficiencia óptima en la movilidad submáxima. Sin embargo, los resultados submáximos no siempre se relacionan con el máximo rendimiento, sino que la altura de la silla en la mayoría de los casos estará determinada por la función que realiza cada atleta, en cuanto al deporte que practica y su papel dentro del mismo. (14)

Los atletas que compiten en deportes en los que la altura es ventajosa, como el baloncesto, tendrán que escoger asientos más altos. Por otra parte, los asientos más bajos dan agilidad adicional y mayor estabilidad, que puede ser un requisito en otros deportes como el rugby. Por supuesto, habrá que tener en cuenta otros factores como el grado de discapacidad o algunas otras características de la silla, como el tamaño de la rueda, que influirá directamente en la altura del asiento. (8)

- Posición: Se ha demostrado que a medida que el centro de gravedad se mueve hacia atrás y abajo con relación al eje, disminuye la resistencia a la rodadura, aumenta la eficacia de la propulsión haciéndola más fluida (5,11) y disminuyen los valores del electromiograma de la extremidad superior, mejorando la biomecánica y el rendimiento. También se han demostrado efectos positivos en el sistema cardiovascular y el consumo de energía. (11) Además la inclinación posterior de la base del asiento aumenta la estabilidad y reduce el ángulo entre los muslos y el tronco, mejorando el equilibrio y proporcionando un lugar para asegurar la pelota en los deportes de cancha. (1)

El centro de masas del atleta debe caer lo más cerca posible de las grandes ruedas traseras, ya que así disminuirá la resistencia a la rodadura. (2,16)

Sin embargo, esta combinación atrás-abajo no siempre es una buena solución teniendo en cuenta la capacidad funcional de los atletas y sus diferentes tareas; en los sujetos con reducido control de tronco no se podrá llevar la posición del asiento hacia atrás al máximo. (5)

- Cojín: El relleno de los asientos debe ser mínimo con el fin de promover que el atleta y la silla actúen como una unidad integral dando estabilidad. El riesgo de lesiones en los tejidos blandos se reduce al mínimo aumentando la superficie de apoyo en contacto con el cuerpo que debe ajustarse perfectamente. El cojín se moldea para el usuario formando una ortesis personalizada. (1,15) Las dimensiones de anchura, altura y profundidad deben considerarse en relación con las dimensiones del atleta para que esté lo más cómodo posible. (16)
- Ruedas: Deben ser llevadas lo más cerca posible del cuerpo, de modo que permitan a los brazos mantenerse en una posición neutra, manteniendo los hombros estables en todo el rango de movimiento. (1)

- Diámetro: Está demostrado que el tamaño de la rueda afecta a la resistencia a la rodadura; con ruedas más pequeñas aumenta la resistencia para una velocidad dada. Esto es aplicable tanto a las ruedas delanteras como a las traseras, sin embargo, la investigación desde una perspectiva ergonómica solo se ha centrado en las ruedas principales. (6)

Es evidente que el tamaño de la rueda también afectará a la distancia entre el hombro y el punto muerto superior de las ruedas principales, lo que influirá en la técnica de propulsión si no se controla bien. Se han estudiado las diferencias entre dos tamaños de ruedas frecuentemente utilizados; 0,59m y 0,65, confirmándose que unas ruedas más pequeñas se asocian con un aumento de la resistencia, al observarse un aumento significativo en la potencia de salida en una propulsión submáxima. La consecuencia de esto fue un aumento de la demanda fisiológica en ruedas de 0,59 m en comparación con las de 0,65m. (6)

Por otra parte no se revelaron efectos significativos en la cinemática de los miembros superiores, pero sí una mayor tasa de desarrollo de fuerza en la propulsión de ruedas más pequeñas, lo que podría asociarse a un mayor riesgo de lesiones. El rendimiento de aceleración inicial no se vio estadísticamente afectado pero sí las velocidades máximas alcanzadas, que fueron mayores con una rueda de mayor diámetro y por consecuente disminuyó el tiempo tomado en la realización de un sprint. Por otro lado, no se vio ningún efecto significativo en la maniobrabilidad. (6)

En definitiva, las ruedas de 0,65 m son más favorables para un mejor rendimiento; esto podría sugerir que los diámetros de 0,67m (cada vez más utilizados en deportes de cancha) sean más óptimos, pero para confirmarlo sería necesaria más investigación. (6)

- Comba: La inclinación de las ruedas traseras es un parámetro importante a tener en cuenta para la regulación óptima de las sillas. La comba se define como el ángulo de las ruedas principales en relación a la vertical, con lo que la distancia entre los puntos superiores de las ruedas es menor que la de los puntos inferiores. (6,9)

Sus beneficios mecánicos han sido bien documentados; el aumento de la distancia entre las ruedas se ha asociado con numerosas ventajas; proporciona mayor estabilidad, un aumento en la velocidad de giro y permite la propulsión sin que los brazos golpeen la parte superior de las ruedas. (1) En el baloncesto tiene el beneficio adicional de proteger las manos cuando los jugadores rivales se acercan y las dos sillas deslizan entre sí. (6,9,17)

Sin embargo, los efectos en los aspectos fisiológicos y de rendimiento son limitados y ligeramente más ambiguos. La comba es un área particularmente compleja ya que su manipulación influirá directamente en otras áreas. Es necesario estandarizar y normalizar todas ellas, sobre todo controlando la divergencia- convergencia de las ruedas principales. La no estandarización del resto de componentes de la silla ha provocado gran controversia en las investigaciones que pretenden estudiar el efecto de la comba, sin normalizar el resto de áreas podrían quedar alterados los resultados, confundiendo los efectos de ésta con los producidos por otros componentes. (6,9)

Un aumento de la comba conllevará un aumento de la potencia de salida; esto se debe a un aumento en la fricción interna por una deformación del neumático que creará una mayor área de contacto entre éste y el suelo. (6,9,17) Esto resultará en una mejora de la eficacia mecánica en angulaciones mayores, sin embargo, también se demostró que angulaciones extremas de comba (24°) afectarán negativamente a la demanda fisiológica y al tiempo de carrera. Además, se establecieron mayores rangos de movimiento para la flexión de hombro y extensión de codo, lo que puede contribuir al mayor gasto energético. Por otro

lado, se ha visto que angulaciones de 20° y 18° mejoran significativamente la capacidad de maniobra. (6,9)

Esto sugiere que ser más eficiente aumentando la comba quizás tiene poca utilidad para los atletas si su demanda energética también aumenta, ya que el mayor consumo de oxígeno les haría agotarse más rápido y la fatiga aparecería antes. Así pues, la comba debe optimizarse de forma individualizada según la necesidad y demanda del atleta, ya que ésta puede tener tanto aspectos negativos como positivos.

- Alineación: La alineación de las ruedas en el plano transversal, llamado convergencia-divergencia, necesita ser constante en la configuración; una desviación de tan solo 2° se ha visto que aumenta al doble la resistencia experimentada durante la propulsión. (9)

- Estructura de las ruedas: Actualmente hay un elevado número de ruedas disponibles con diferentes características (diferente número, grosor, material y orientación de los radios) que pueden afectar a la rigidez de la rueda, sin embargo, según Mason et al. estas diferencias en la rigidez lateral tienen poco efecto sobre la demanda fisiológica y el gasto de energía. Una rueda más rígida podría lograr posibles mejoras en el rendimiento de aceleración inicial pero, en contraposición, una más flexible facilita el rendimiento global de sprint. (18)

Por otro lado, el tipo de neumático y la presión de inflado tienen un impacto mucho mayor en el rendimiento. Se demostró que las ruedas con neumáticos tubulares de alta presión reducen significativamente la demanda fisiológica a través de una menor resistencia a la rodadura. Éstos permiten una mayor presión de inflado y se cree que son menos propensos a los pinchazos. Por otro lado, un neumático tubular, con un innovador diseño para reducir al mínimo la deformación y la resistencia a la rodadura, no mostró beneficios adicionales en el rendimiento en relación con el neumático tubular estándar. (18)

En cuanto a la presión de inflado, se reveló que hay un aumento en la demanda fisiológica cuando ésta cae al 25% y 50% de la presión recomendada. (18)

- Aros: A pesar del bajo rendimiento de propulsión que ofrecen los aros, casi todos los deportes en silla de ruedas utilizan este elemento estándar de propulsión. (4)

De hecho, en las pruebas oficiales de pista de silla de ruedas (Juegos Mundiales, Juegos paralímpicos) no se admiten mecanismos de propulsión diferentes. Sin embargo, de nuevo la falta de estandarización, hace difícil establecer si todos los cambios fisiológicos provocados por el tamaño del aro son realmente el resultado de estos ajustes. (2)

En primer lugar, aros de mayor diámetro suponen un aumento de la fuerza de propulsión y un incremento de las velocidades de la mano, antebrazo y brazo durante el impulso a velocidades fijas. Esto se debe a la gran velocidad tangencial de los grandes aros, lo que conlleva un aumento de la demanda fisiológica y puede ser un factor determinante de bajo rendimiento. (6) Por el contrario, aros menores resultarán en impulsos de propulsión más largos y velocidades de la mano menores. (2)

La evidencia indica que el uso de estos aros de menor diámetro aumenta la eficacia mecánica de la propulsión, argumentando que el mayor tiempo de impulso que éstos suponen permite a los atletas aplicar el mismo impulso mecánico con valores menores de fuerza. Estos aros podrían explicar la tensión física más baja y el menor estrés cardiorrespiratorio en los esfuerzos de alta intensidad, reflejado por una frecuencia cardíaca y una concentración de lactato en sangre menor. (4,6)

Sin embargo, un diámetro mayor será eficaz cuando se va cuesta arriba o cuando se necesita un incremento rápido de la velocidad, pero como ya se ha citado, esto supondrá que la energía mecánica para un ciclo de propulsión completo sea significativamente mayor que con aros más pequeños, lo que conllevará un mayor coste metabólico que no todos los atletas son capaces de aguantar. (4,6)

Diferentes condiciones necesitarán distintos tamaños de aro. Atletas con un mejor rendimiento pueden necesitar mayores aros que les ayudarán a moverse más rápido con un mayor esfuerzo, mientras que aquellos con niveles más bajos de rendimiento requerirán aros más pequeños. Así pues, se deben considerar las capacidades individuales de cada atleta para hacer una correcta elección personalizada del aro. (4,19)

Además de estos elementos, que son los que más estudio han recibido, hay otras características de la silla que igualmente podrían influir en el rendimiento:

- Las correas, que se utilizan para mantener al atleta firmemente unido a la estructura, con el fin de aumentar su equilibrio y evitar la caída. (1,5)

- Las ruedas delanteras, que varían en número y tamaño según cada deporte, las ruedas antivuelco o los reposapiés, pensados para influir en la maniobrabilidad y la estabilidad de la silla. (7)
- El marco, que debe ser lo más ligero posible pero con una gran rigidez. (1)
- Los guantes, que aunque no forman parte de la silla, tienen gran importancia a la hora de mejorar el acoplamiento entre esta y el aro, incrementando la fricción entre ambas superficies, además de proteger la mano. (8,19,20)
- Cubiertas para las ruedas principales o parachoques se utilizan en deportes en los que hay más contacto entre las sillas, como el rugby, con el fin de dar protección. (1)

La mayoría de los estudios realizados sobre las adaptaciones de las sillas de ruedas tienen algunas deficiencias metodológicas con lo que la identificación de configuraciones óptimas es problemática.

Cuando se estudia una característica de la silla de ruedas concreta, deben estandarizarse las demás áreas para que no influyan en los resultados; muchos estudios no consiguen normalizarlas, lo que impide que se establezcan relaciones de causa-efecto fiables.(6)

Además, muchos de los estudios incluyen sujetos sin ninguna experiencia previa en el manejo de sillas de ruedas, poblaciones sin discapacidad, o en contexto de la vida cotidiana; esto debe ser evitado porque indudablemente influirá de forma negativa en los resultados y los hallazgos no serán específicos ni transferibles a los atletas. (5,6)

Las sillas deportivas son muy individualizadas y cualquier pequeño ajuste va a tener consecuencias en el desempeño, por ello las pruebas deben en primer lugar evaluar el progreso individual de un deportista y no comparar el efecto entre varios de ellos, así pues, se deben cuantificar los cambios de rendimiento en un mismo sujeto, usando sus propias sillas con ajustes individuales. (14)

En futuros estudios sería muy interesante que los investigadores llevaran a cabo pruebas de campo en los entornos habituales de competición que puedan corroborar los resultados extraídos en el laboratorio, (17) ya que a menudo las pruebas se realizan sobre ergómetros o cintas estandarizadas que tienen una validez limitada. (10) Para ello será necesaria la introducción de métodos ambulatorios, como velocímetros, sistemas de

análisis con cámaras 3D o sensores inerciales (IMU) que permiten la recopilación de datos durante un partido o carrera. (21)

Riesgo de lesiones:

Una selección apropiada de los ajustes de la silla contribuirá tanto a un mayor nivel de capacidad atlética como a una protección frente al riesgo de lesiones. Con atletas entrenando a altos niveles de intensidad y duración el riesgo de lesiones aumentará, especialmente si los programas de entrenamiento no se individualizan teniendo en cuenta las capacidades de cada atleta. (12)

Son muy comunes las lesiones por uso excesivo y por repetición en las extremidades superiores. Los elementos esenciales para la prevención de estas lesiones son minimizar el peso y la resistencia a la rodadura, colocar las ruedas principales tan cerca del centro de masas como sea posible, utilizar neumáticos de alta presión correctamente inflados, trabajar la fuerza, flexibilidad y resistencia de los brazos y hombros, aplicar técnicas de entrenamiento adecuadas, realizar una técnica de propulsión correcta y evitar el aumento del peso corporal. (1)

La elevada tensión mecánica en el sistema musculo esquelético generada por la propulsión del aro puede provocar problemas de hombro, síndrome del túnel carpiano, lesión del nervio mediano o el pinzamiento del tendón del supraespinoso. Esto se debe a la elevada carga mecánica sobre las extremidades superiores a la hora de la propulsión (esfuerzo repetitivo, fuerza máxima, en algunos casos uso de músculos limitado y desviaciones articulares extremas, sobretodo en la muñeca). Estas fuerzas musculares adicionales, necesarias para estabilizar el hombro, pueden no solo conducir a una sobrecarga muscular, sino también a daños en el cartílago articular por una compresión elevada de la articulación glenohumeral. (2)

Además, a consecuencia de una mala adaptación, algunos atletas paralímpicos en silla de ruedas desarrollan úlceras por presión o heridas. Es poco lo que se puede hacer para reducir el riesgo de abrasiones y contusiones, sin embargo, se pueden mejorar las habilidades específicas para evitar golpes, colisiones no deseadas, caídas y otros accidentes que pueden provocarlas. (1)

Algunas características como cubiertas, paragolpes y sillas de ruedas cuidadosamente equipadas ayudan a reducir el riesgo de lesiones, ya que la silla proporciona un cierto

nivel de protección. (1) Además, es esencial la presencia de personal capacitado que gestione estos problemas de salud; los entrenadores y atletas necesitan más educación sobre las úlceras y heridas por presión. También es esencial que los atletas pasen pruebas médicas y físicas para reducir estos riesgos. (12)

Competencia leal:

Como ya se ha nombrado, el rendimiento se verá fuertemente influenciado por la mecánica de la silla de ruedas. En estos deportes, la competencia leal no solo depende de la correcta clasificación de los atletas, sino también de la regulación de la calidad de la silla de ruedas, que especialmente repercutirá sobre aquellos atletas con recursos científicos y financieros limitados. (2)

Hoy en día, el uso de una avanzada tecnología paralímpica pone a los equipos, sin compañías comerciales multimillonarios, en una desventaja. Algunos países no pueden permitirse el lujo de tener los mejores equipamientos y materiales, como son las sillas de titanio. Mientras que los equipos privilegiados, desde un enfoque ambicioso y quizás egoísta, priorizan el alto rendimiento que les ofrece la alta tecnología. Tienen los recursos necesarios, pueden permitirse utilizarlos y lo hacen. (15)

Un número creciente de países está invirtiendo cada vez más recursos con el fin de aumentar sus medallas en los juegos paralímpicos. Con una cuestión como es el orgullo nacional en juego, hay un riesgo cada vez mayor para la interpretación liberal de los objetivos generales del movimiento paralímpico y del sistema de clasificación, con el objetivo de ganar medallas a costa de la exclusión de algunos atletas de gran talento. (12)

Conclusiones

Se puede concluir que la configuración ergonómica de la silla de ruedas cumple un papel imprescindible en la mejora del rendimiento de los atletas, sin embargo no es el único factor que influye en el rendimiento; el atleta (su condición física y su técnica) y la interfaz entre el usuario y la silla son los otros dos pilares fundamentales para su optimización.

Los efectos de la configuración de la silla de ruedas en el rendimiento han tenido poca investigación, esto se debe posiblemente a la complejidad que supone. Sin embargo, tiene una gran relevancia ya que permitirá informar mejor a los atletas, entrenadores y fabricantes acerca de las consecuencias que la configuración de la silla tendrá sobre el rendimiento. Mucha mayor consideración debería darse a los efectos que ésta tiene sobre el riesgo de lesiones, ya que no ha sido investigada de manera objetiva.

Algunas de estas características han sido estudiadas proporcionando información que puede ser útil a la hora de configurar una nueva silla de ruedas. Sin embargo no es lo suficientemente específica, ya que cada deportista difiere en factores físicos y en los factores relacionados con el juego (las sillas serán específicas para el deporte que practica cada atleta así como para su rol en el mismo). Es por ello que será necesario un método de estudio de caso único que evalúe las necesidades de cada atleta, ayudándose de la orientación que la investigación ha proporcionado para alcanzar un mayor rendimiento.

Bibliografía

1. De Luigi AJ, Cooper RA. Adaptive sports technology and biomechanics: Prosthetics. PM R. 2014.
2. Van Der Woude LH V, Veeger HEJ, Dallmeijer AJ, Janssen TWJ, Rozendaal LA. Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion. Med Eng Phys. 2001;23(10):713–33.
3. Cooper R a. Wheelchair racing sports science: a review. J Rehabil Res Dev. 1990;27(3):295–312.
4. Costa GB, Rubio MP, Belloch SL, Soriano PP. Case study: Effect of handrim diameter on performance in a paralympic wheelchair athlete. Adapt Phys Act Q. 2009;26(4):352–63.
5. Vanlandewijck Y, Theisen D, Daly D. Wheelchair Propulsion Biomechanics. Sport Med. 2001;31(5):339–67.
6. Mason BS, van der Woude LH V, Goosey-Tolfrey VL. The ergonomics of

- wheelchair configuration for optimal performance in the wheelchair court sports. *Sports Med.* 2013 Jan;43(1):23–38.
7. Mason BS, Porcellato L, Van Der Woude LH V, Goosey-Tolfrey VL. A qualitative examination of wheelchair configuration for optimal mobility performance in wheelchair sports: A pilot study. *J Rehabil Med.* 2010;42(2):141–9.
 8. Goosey-Tolfrey VL. Supporting the paralympic athlete: Focus on wheeled sports. *Assist technol Res Ser.* 2010;26(April):385–7.
 9. Mason B, Van Der Woude L, De Groot S, Goosey-Tolfrey V. Effects of camber on the ergonomics of propulsion in wheelchair athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(2):319–26.
 10. Van der Woude LHV, de Groot S, Janssen TWJ. Manual wheelchairs: research and innovation in sports and daily life. *Sci Sports.* 2006;21(4):226–35.
 11. Rogers H, Berman S, Fails D, Jaser J. A comparison of functional mobility in standard vs. ultralight wheelchairs as measured by performance on a community obstacle course. *Disabil Rehabil.* 2003;25(19):1083–8.
 12. Laferrier JZ, Rice I, pearlman J, Sporner ML, Cooper R, Liu T, et al. Technology to improve sports performance in wheelchair sports. *Sport Technol.* 2012;5(1-2):4–19.
 13. Yilla A. Anatomy of the Sports Wheelchair. *Athletic Therapy Today.* (2004, May); 9(3): 33-35.
 14. Vanlandewijck Y, van de Vliet P, Verellen J, Theisen D, Vanlandewijck; YC. Determinants of shuttle run performance in the prediction of peak VO₂ in wheelchair users. *Disabil Rehabil.* 2006;28(20):1259–66.
 15. Grogan A. Paralympic technology. *Eng Technol.* 2012;7(8):28.
 16. Lei L, Guan TM, Shan LJ. Structure design and FE analysis of a newly basketball wheelchair. In: *Advanced Materials Research.* Trans Tech Publications; 2008. p. 685–90.

17. Faupin A, Campillo P, Weissland T, Gorce P, Thevenon A. The effects of rear-wheel camber on the mechanical parameters produced during the wheelchair sprinting of handibasketball athletes. *J Rehabil Res Dev.* 2004;41(3B):421–8.
18. Mason BS, Lemstra M, van der Woude LH V, Vegter R, Goosey-Tolfrey VL. Influence of wheel configuration on wheelchair basketball performance: Wheel stiffness, tyre type and tyre orientation. *Med Eng Phys.* Elsevier Ltd.; 2015;37(4):392–9.
19. Coutts KD. Kinematics of sport wheelchair propulsion. *J Rehabil Res Dev.* 1990;27(1):21–6.
20. Mason BS, Van Der Woude LH V, Goosey-Tolfrey VL. Influence of Glove Type on Mobility Performance for Wheelchair Rugby Players. *Am J Phys Med Rehabil.* Lippincott Williams & Wilkins;88(7):559–70.
21. Van Der Slikke RMA, Berger MAM, Bregman DJJ, Lagerberg AH, Veeger HEJ. Opportunities for measuring wheelchair kinematics in match settings; reliability of a three inertial sensor configuration. *J Biomech.* Elsevier; 2015;48(12):3398–405.

Anexos

ANEXO 1. Descripción de los estudios

Título	Autor	Año	Tema del estudio	Tipo de estudio
Adaptive sports technology and biomechanics: Prosthetics.	De Luigi AJ, Cooper RA.	2014	Revisión sobre la tecnología de adaptación utilizada en los deportes paralímpicos, presentando las principales consideraciones para el diseño de las diferentes sillas deportivas.	Artículo de revisión
The ergonomics of wheelchair configuration for optimal performance in the wheelchair court sports. <i>Sports Med</i>	Mason BS, van der Woude LH V, Goosey-Tolfrey VL.	2013	Revisión de la literatura científica que ha investigado los efectos de la configuración de la silla de ruedas y su movilidad en el rendimiento en deportes paralímpicos de pista desde una perspectiva ergonómica.	Artículo de revisión

Paralympic technology.	Grogan A.	2012	Artículo sobre la tecnología utilizada en deportes paralímpicos que aborda los privilegios de los países con recursos y algunas claves en la mejora del rendimiento que esto conlleva.	Artículo periodístico
Technology to improve sports performance in wheelchair sports.	Lafferrier JZ, Rice I, pearlman J, Sporner ML, Cooper R, Liu T, et al.	2012	Revisión en la que se examinan una serie de factores relacionados con la maximización del rendimiento y la prevención de lesiones en deportes en silla de ruedas.	Artículo de revisión
A comparison of functional mobility in standard vs. ultralight wheelchairs as measured by performance on a community obstacle course.	Rogers H, Berman S, Fails D, Jaser J.	2003	Investigación de las diferencias entre una silla ultraligera deportiva y una silla cotidiana en cuanto a las habilidades de movimiento y el rendimiento del usuario. Llevado a cabo en 60 adultos sanos sin experiencia.	Ensayo clínico controlado y aleatorizado
Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion.	Van Der Woude LH V, Veeger HEJ, Dallmeijer AJ, Janssen TWJ, Rozendaal LA.	2001	Investigación de la biomecánica y la fisiología de la propulsión manual de sillas de ruedas, como afecta ésta al rendimiento y los mecanismos de lesión que puede conllevar.	Artículo de revisión
Kinematics of sport wheelchair propulsion.	Coutts KD.	1990	Comparación de la cinemática de propulsión de 3 jugadores de baloncesto y 5 atletas de carrera en silla de ruedas, centrándose sobre todo en el tamaño de rueda.	Estudio comparativo no aleatorizado
Wheelchair racing sports science: a review	Cooper R A.	1990	Revisión sobre las carreras en sillas de ruedas, su historia, la clasificación de los atletas, el diseño de la silla, la biomecánica de propulsión y el entrenamiento de los atletas.	Artículo de revisión
Determinants of shuttle run performance in the prediction of peak VO2 in wheelchair users.	Vanlandewijck Y, van de Vliet P, Verellen J, Theisen D, Vanlandewijck; YC.	2006	Estudio del impacto de las variaciones ambientales y ergonómicas en el rendimiento en 11 deportistas en silla de ruedas.	Serie de casos
Wheelchair Propulsion	Vanlandewijck Y, Theisen D,	2001	Revisión del estado de la técnica y biomecánica de propulsión con especial	Artículo de

Biomechanics.	Daly D.		atención a las implicaciones específicas de cada deporte.	revisión
The effects of rear-wheel camber on the mechanical parameters produced during the wheelchair sprinting of handibasketball athletes.	Faupin A, Campillo P, Weissland T, Gorce P, Thevenon A.	2004	Estudio de diferentes inclinaciones de las ruedas traseras (9°, 12° y 15°) para la regulación óptima de las sillas de ruedas durante la propulsión en 8 atletas paralímpicos de baloncesto.	Serie de casos
Manual wheelchairs: research and innovation in sports and daily life.	Van der Woude LHV, de Groot S, Janssen TWJ.	2006	Descripción de las principales características de las sillas de ruedas y sus desarrollos tecnológicos tanto en el deporte como en la vida diaria.	Artículo de revisión
Structure design and FE analysis of a newly basketball wheelchair.	Lei L, Guan TM, Shan LJ.	2008	Diseño de una silla de ruedas de baloncesto novedosa mediante un software en tres dimensiones, con el fin de mejorar el rendimiento y el nivel de desarrollo del deporte en silla de ruedas.	Descriptivo
Case study: Effect of handrim diameter on performance in a paralympic wheelchair athlete.	Costa GB, Rubio MP, Belloch SL, Soriano PP.	2009	Estudio del tamaño del aro de propulsión y como afecta en la biomecánica y en la fisiología de un atleta paralímpico.	Estudio de caso único
Opportunities for measuring wheelchair kinematics in match settings; reliability of a three inertial sensor configuration.	Van Der Slikke RMA, Berger MAM, Bregman DJJ, Lagerberg AH, Veeger HEJ.	2015	Se evalúa la configuración de tres sensores inerciales (IMU) como un sistema fiable y de fácil aplicación para medir la cinemática de sillas de ruedas durante un partido de baloncesto contra un sistema óptico 3D (gold standard) en 20 sujetos.	Informe técnico (estudio de validación de un método)
Effects of camber on the ergonomics of propulsion in wheelchair athletes.	Mason B, Van Der Woude L, De Groot S, Goosey-Tolfrey V.	2011	Se estudian los efectos que la configuración de la comba de la rueda trasera (15°, 18°, 20°, 24°) tiene sobre las respuestas fisiológicas y biomecánicas en 14 atletas paralímpicos altamente entrenados.	Serie de casos
Influence of Glove Type on Mobility Performance for Wheelchair Rugby Players.	Mason BS, Van Der Woude LHV, Goosey-Tolfrey VL.	2010	Estudio que determina la efectividad del uso de guantes en el rendimiento en 10 jugadores de rugby en silla de ruedas y que tipo de guante es mejor.	Serie de casos

Supporting the paralympic athlete: Focus on wheeled sports.	Goosey-Tolfrey VL.	2010	Descripción de la configuración de la silla de ruedas para su optimización en los deportes de cancha, el entrenamiento de los atletas y la técnica de propulsión para mejorar la eficiencia.	Artículo de revisión
A qualitative examination of wheelchair configuration for optimal mobility performance in wheelchair sports: A pilot study.	Mason BS, Porcellato L, Van Der Woude LH V, Goosey-Tolfrey VL.	2010	Investigación cualitativa sobre las percepciones de 9 atletas paralímpicos de élite (jugadores de rugby, baloncesto y tenis en silla de ruedas) en cuanto a los efectos de la configuración de la silla de ruedas en el rendimiento.	Estudio piloto
Anatomy of the Sports Wheelchair.	Yilla A.	2004	Descripción de la configuración de las sillas de ruedas deportivas (materiales y componentes).	Descriptivo
Influence of wheel configuration on wheelchair basketball performance: Wheel stiffness, tyre type and tyre orientation.	Mason BS, Lemstra M, Van Der Woude LH V, Vegter R, Goosey-Tolfrey VL	2015	Investigación sobre la influencia que tiene la configuración de la rueda (rigidez, tipo de neumático, orientación, presión de hinchado y mantenimiento) en el rendimiento de atletas paralímpicos.	Serie de casos