

Article

# Una Investigación Sobre los Determinantes Físicos de la Velocidad de Cambio de Dirección

## An Investigation Into The Physical Determinants of Change of Direction Speed

Paul Jones<sup>1</sup>, T. Bampouras<sup>2</sup> y K. Marrin<sup>3</sup><sup>1</sup>University of Bolton.<sup>2</sup>University of Cumbria.<sup>3</sup>Edge Hill University.

### RESUMEN

La velocidad de cambio de dirección (CODS) es un atributo importante para muchos deportes y se cree que está influenciada por una variedad de factores físicos. Sin embargo no hay un consenso general acerca de cuales son los atributos físicos que se relacionan con CODS. El objetivo de este estudio fue examinar la relación de varios atributos físicos con la velocidad de cambio de dirección (CODS). Treinta y ocho sujetos (Media  $\pm$  SD: edad, 21,5  $\pm$  3,8 años; Talla, 1,77  $\pm$  0,07 m; Peso, 77,5  $\pm$  13,9 kg) realizaron pruebas de velocidad, CODS, fuerza y potencia. La velocidad de carrera se evaluó a través de un sprint de 25m con tiempos parciales registrados a los 5, 20 y 25m. La CODS fue evaluada por la prueba 505 que consistió en la medición del tiempo necesario para completar una carrera de ida y vuelta de 5m. Los tests de fuerza y potencia incluyeron la fuerza unilateral isocinética concéntrica y excéntrica de extensores y flexores de la rodilla a 60°/s y press de piernas bilateral, saltos contramovimiento y salto pliométrico (salto en profundidad). Para evaluar la relación entre todas las variables se emplearon las correlaciones momento producto de Pearson y los coeficientes de determinación. Para determinar los efectos combinados de las variables que se correlacionaban significativamente en la CODS se utilizó regresión múltiple. La regresión múltiple por pasos reveló que la velocidad de carrera explicaba el 58% de la variación de CODS ( $F_{1,33} = 45,796$ ,  $p < 0,001$ ) y si se adicionaba la fuerza excéntrica del flexor de rodilla el valor aumentaba a 67% ( $F_{1,32} = 8,781$ ,  $p = 0,006$ ). Los resultados sugieren que para obtener mejoras básicas en la velocidad de cambio de dirección (CODS), los atletas deben intentar maximizar su capacidad de sprint y aumentar la fuerza excéntrica de los flexores de la rodilla para permitir un control neuromuscular eficaz de la fase de contacto de la acción de CODS.

**Palabras Clave:** Agilidad, velocidad de cambio de dirección, velocidad, fuerza excéntrica

### ABSTRACT

Change of direction speed (CODS) is an important attribute for many sports and is believed to be influenced by a variety of physical factors. However, there is a lack of consensus as to which physical attributes relate to CODS. The aim of this study was to examine the relationship of several physical attributes to CODS. Thirty-eight subjects (mean  $\pm$  SD: age, 21.5  $\pm$  3.8 years; height, 1.77  $\pm$  0.07 m; mass, 77.5  $\pm$  13.9 kg) undertook tests of speed, CODS, strength and power. Running speed was assessed via a 25m sprint with split times taken at 5, 20 and 25m. CODS was assessed by a 505-test, which involves

measuring the time to complete a 5m out and back course. The strength and power tests included unilateral isokinetic concentric and eccentric knee extensor and flexor strength at 60o/s and bilateral leg press, countermovement and drop jumps. Pearson's product moment correlation and co-efficients of determination were used to explore relationships amongst all variables. Multiple regression was used to determine the combined effects of significantly correlated variables on CODS. Stepwise multiple regression revealed that running speed explained 58% of the variance in CODS ( $F_{1,33} = 45.796$ ,  $p > 0.001$ ) with the addition of eccentric knee flexor strength raising the value to 67% ( $F_{1,32} = 8.781$ ,  $p = 0.006$ ). The results suggest that for basic improvements in CODS, athletes should seek to maximise their sprinting ability and enhance their eccentric knee flexor strength to allow effective neuromuscular control of the contact phase of the CODS task.

**Keywords:** agility, change of direction speed, speed, eccentric strength

## INTRODUCCION

---

La agilidad es un componente importante de muchos deportes y puede ser definida como "movimiento rápido de todo el cuerpo con cambio de dirección en respuesta a un estímulo" (1). En estudios recientes se ha considerado que la agilidad depende de 2 subcomponentes, a) factores de percepción y toma de decisión y b) factores relacionados a la mecánica real del cambio de dirección (1, 2, 3). En vista de esto, muchas pruebas de agilidad y ejercicios de entrenamiento que no involucran el aspecto de la toma de decisión se considera que están evaluando o entrenando la velocidad del cambio de dirección (1, 2, 3). Para el propósito de este estudio, las pruebas de agilidad que no incluyan un componente de percepción o de toma de decisión serán denominadas como medidas de velocidad de cambio de dirección (CODS) y pueden ser definidas como la habilidad para desacelerar, dar marcha atrás o cambiar la dirección del movimiento y acelerar de nuevo.

Se cree que la CODS exitosa estaría influenciada por varios atributos físicos y técnicos, entre los que se incluyen la velocidad/aceleración de esprints en línea, fuerza y potencia excéntricas y concéntricas y fuerza reactiva (2). Investigaciones previas han encontrado correlaciones significativas pero bajas entre esprints de 20m y prueba de agilidad de Illinois, y ninguna relación entre esprint de 20m y prueba de agilidad 505 (4). La prueba de agilidad de Illinois consiste en un esprint desde una línea de partida hasta una segunda línea situada a 9,1 m, girar y realizar un nuevo esprint hacia la línea de salida seguida por un giro y volver haciendo zig zag a través de una serie de conos en el recorrido de 9,1 m y finalmente repetir el esprint desde la línea de salida a la segunda línea y regresar nuevamente (5). La prueba 505 consiste en un esprint de 15 m hasta un punto de giro en el cual los sujetos realizan un giro de 180° y un esprint de 5 m de regreso. En la marca de 5m antes del punto de giro, se coloca un juego de luces de cronometraje. El tiempo necesario para realizar el esprint de 5 metros, girar y retornar (medido por las luces de cronometraje) es la medida de rendimiento de agilidad (4). En contraste con el hallazgo mencionado con anterioridad, Graham-Smith y Pearson (6) reportaron un coeficiente de determinación de 65,6% entre un esprint de 15 m y una acción similar de giro de 180°.

Otros estudios que investigan las relaciones entre la velocidad y CODS han involucrado acciones de CODS con giros múltiples y cambios de dirección menos pronunciados. Buttifant et al. (7) observaron correlaciones débiles entre una prueba de agilidad de zig-zag con magnitudes indefinidas de los giros involucrados y el rendimiento en esprint lineal. De manera similar, se han reportado correlaciones bajas no significativas entre esprint de 20m y un test de zig-zag similar con cambios de dirección de 90° y 120° (8). Una pequeña diferencia fue observada por Little y Williams (9) quienes encontraron correlaciones y coeficientes de determinación pequeños a moderados entre la aceleración (esprint de 10m) y agilidad (4 esprint × 5m con zig-zag de 100°) junto con velocidad máxima (esprint con salida lanzada de 20m) y agilidad.

Estos resultados indican que la velocidad de esprint en línea recta no está fuertemente relacionada con el rendimiento de agilidad. De hecho, Young et al (10) demostraron que el entrenamiento con esprint en línea recta no mejora el rendimiento en esprints con cambio de dirección y viceversa. Así, estos estudios apoyan la noción que cada componente debe ser considerado independientemente cuando se diseñan los programas de entrenamiento.

En referencia a las relaciones entre las cualidades de fuerza de piernas y velocidad de cambio de dirección, la mayor dependencia del acoplamiento reactivo excéntrico-concéntrico durante las fases de freno y de propulsión de una acción de cambio de dirección, nos da un sólido fundamento del papel de la fuerza reactiva en CODS (11). A pesar de este fundamento, las investigaciones previas han arrojado resultados contradictorios. Young et al. (8) no observaron ninguna relación entre la fuerza reactiva medida por un salto pliométrico de 30cm y la potencia del tren inferior corporal (salto contramovimiento con y sin carga) y esprints con cambios de dirección de 90° y 120°. De manera similar Young et al. (2) informaron correlaciones no significativas entre la potencia isocinética concéntrica de sentadillas y esprints con cambios de dirección de varias magnitudes, y sólo correlaciones significativamente moderadas con el rendimiento en salto

pliométrico. En contraste, Negrete y Brophy (12) reportaron correlaciones moderadas y significativas entre un test complejo para las extremidades inferiores que involucraba múltiples cambios de dirección y esprints cortos y press de piernas, sentadillas y extensión de rodillas isocinéticos normalizados y salto de distancia con un solo pie. De acuerdo con los últimos resultados, Barnes et al. (13) observaron que la capacidad de realizar salto contramovimiento era un estimador significativo (34%) de la variación de una prueba de agilidad que involucró esprints 4 × 5 metros con 3giros × 180°.

La diferencia entre varios de estos estudios se debe, en parte, a una falta de acuerdo general en la prueba de agilidad/CODS usada y en los métodos de medición de la fuerza utilizados. Muchos de estos estudios usaron giros múltiples de diferente magnitud y variaciones en la distancia total recorrida en la prueba de agilidad. Se habría observado una tendencia más consistente si se hubiera utilizado una prueba enfocada en un solo giro, la cual posteriormente pondría más énfasis en el control neuromuscular para alcanzar el rendimiento.

Otra limitación en los estudios mencionados previamente, es que se han restringidos a correlaciones simples y no han investigado el efecto combinado de los numerosos factores físicos mediante análisis de regresión múltiple. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue examinar la relación de varios atributos físicos con el rendimiento de CODS medido a través de la prueba 505 (4).

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### Sujetos

Treinta y ocho estudiantes universitarios participaron en el estudio (mujeres, n=5; varones, n=33; Media ± SD: edad 21,5 ± 3,8 años; talla, 1,77 ± 0,07 m; peso, 77,5 ± 13,9 kg). Los sujetos tenían diferente experiencia deportiva, entre los que se incluían atletas individuales y de equipo y deportistas activos en el momento del estudio. El estudio fue aceptado por el Comité de Ética Institucional y todos los sujetos proporcionaron su consentimiento informado por escrito para participar.

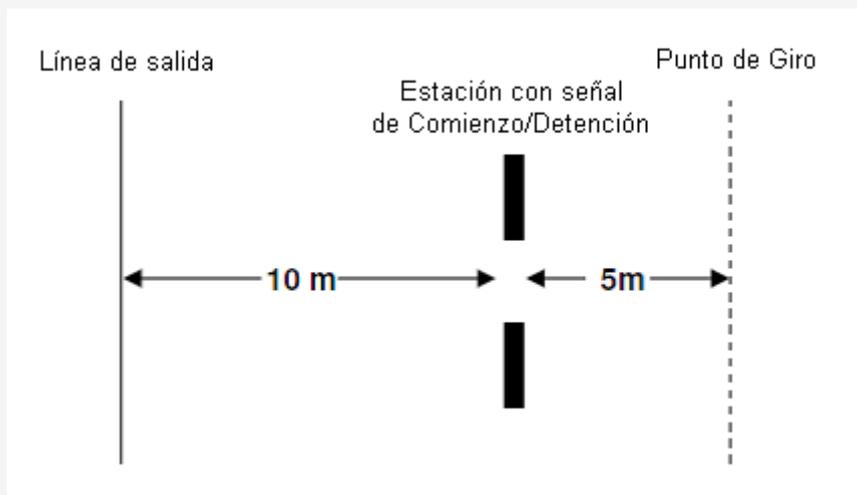
### Procedimientos

Las evaluaciones se realizaron en un período de dos días y las mediciones de a) velocidad y CODS y b) fuerza y potencia fueron realizadas en días diferentes. Todos los sujetos fueron familiarizados previamente con los procedimientos de evaluación. Se solicitó a los sujetos que no realizaran ejercicio activo durante cuarenta y ocho horas antes de las pruebas y que no ingirieran alimentos o cafeína durante las dos horas previas a las valoraciones. Todos los sujetos realizaron las evaluaciones en el mismo momento del día para evitar cualquier efecto del ritmo circadiano (14). Finalmente, se calibró todo el equipo utilizado siguiendo los procedimientos estandarizados de los fabricantes.

### Velocidad y Velocidad de Cambio de Dirección

La velocidad se evaluó a través de un esprint máximo de 25 metros debido a las limitaciones de disponibilidad de espacios cerrados y a la necesidad de obtener medidas de aceleración y capacidad de velocidad máxima. Las estaciones electrónicas de cronometraje (*Newtest Oy, Oulu, Finlandia*) fueron colocadas a los 0m, 5m, 20m y 25m para registrar tiempos parciales (es decir 0-5m, 0-20m, 20-25m). Las estaciones de cronometraje se colocaron aproximadamente a la altura de la cadera para todos los sujetos tal como se recomendó previamente (15), para asegurarse de que sólo una parte del cuerpo, como la zona inferior del torso, interfiriera con el haz. El primer tiempo parcial de 5m fue considerara para proporcionar una medida de aceleración, y para reproducir la parte de re-aceleración de la prueba 505. La franja de 20-25m (salida lanzada de 5m) se usó como una medida de capacidad de velocidad máxima. Se realizaron dos intentos y para cada intervalo tiempo se registró el mejor tiempo de los dos intentos.

La velocidad de cambio de dirección (CODS) se determinó mediante la prueba de agilidad 505 (4). La prueba consistió en colocar estaciones electrónicas de cronometraje (Globus, Italia) separadas por 2 m, a una distancia de 10 m de la línea de salida, con una línea de regreso marcada (línea pintada y 2 conos) a 15 m de la misma (Figura 1). Nuevamente las estaciones de cronometraje se colocaron aproximadamente a la altura de la cadera para todos los sujetos. Se solicitó a los sujetos que realizaran un esprint máximo desde la línea de salida pasando por las estaciones de cronometraje y luego realizaran un cambio de dirección mediante un giro de 180° en el punto de regreso con su pierna dominante, antes de acelerar hacia atrás por la estación de cronometraje. Se puso énfasis en que la ejecución debía hacerse tan rápido como fuera posible. Se registró el tiempo transcurrido para completar la distancia de 10 m desde la estación de cronometraje hasta el punto de giro y regreso.



**Figura 1.** Adecuación del equipamiento para la prueba de agilidad 505.

## Fuerza y potencia

La fuerza isoinercial describe el fenómeno en el cual la fuerza es generada por un músculo o grupo de músculos al acelerar una carga gravitatoria constante (16). La fuerza isoinercial se registró mediante un dinamómetro *Concept II* (*Concept II S.A., Nottingham, REINO UNIDO*). Cada sujeto realizó 3 repeticiones de press de piernas bilateral. El dinamómetro mide la fuerza monitoreando la aceleración de un disco trasero con una resistencia conocida. La forma de ejecución fue la misma para todos los sujetos e intentos. Los sujetos se sentaron con los brazos sujetando las agarraderas del asiento. El rango de movimiento varió desde extensión completa de la rodilla a flexión de 90° aprox. de la rodilla.

El puntaje (en kg) del monitor fue registrado para cada repetición en cada ejercicio y el mejor puntaje se utilizó en el análisis. La fuerza de los músculos flexores y extensores de la rodilla de la pierna dominante, se evaluó en 60x18/s mediante un dinamómetro isocinético (*Contrex, Suiza*). Los sujetos se sentaron con la articulación de la cadera a 90° (posición supina = 0°). El centro de rotación de la rodilla se alineó con el eje del dinamómetro y los movimientos extraños fueron evitados mediante correas colocadas en la cadera, los hombros y en el muslo que estaba siendo evaluado. Se efectuó una corrección de las mediciones por la gravedad y el torque máximo se obtuvo a partir de 4 repeticiones tanto para las contracciones concéntricas como para las excéntricas, tal como se recomendara previamente (17). El torque máximo se registró en flexión de la rodilla desde 0 a 90° (extensión completa de la rodilla = 0°). El orden de las pruebas fue extensor concéntrico, flexor concéntrico, extensor excéntrico, flexor excéntrico. Los valores de fuerza absoluta para press de pierna y de las variables isocinéticas fueron normalizados en función del peso corporal (BW), usando BW0,67 y BW1, respectivamente, siguiendo la metodología descrita por Jaric (18).

Las fuerzas reactiva lenta y rápida fueron evaluadas mediante salto contramovimiento (CMJ) y salto pliométrico de 30 centímetros (DJ), respectivamente. Cada sujeto realizó 3 ensayos de cada salto, manteniendo las manos en las caderas para aislar la contribución de los músculos de las piernas (19). Para el DJ, se solicitó a los sujetos que caminaran (no saltaran) desde la plataforma levantada, para asegurar una distancia de caída homogénea en cada ensayo. Además, se les solicitó que realizaran un salto pliométrico “rebote” en el cual el sujeto debía saltar una altura máxima con un tiempo mínimo de contacto. Una investigación previa (20) demostró que las instrucciones sobre la ejecución de saltos pliométricos pueden tener implicaciones en la calidad de la fuerza real que se está midiendo. La altura del salto y tiempo de vuelo para ambos saltos, así como el tiempo de contacto para el DJ, fueron determinados mediante una esterilla de salto (*Newtest Oy, Oulu, Finlandia*). Adicionalmente, se determinó el índice de reactividad (altura de salto/tiempo de contacto) para el salto pliométrico (DJ).

## Análisis estadístico

La normalidad de datos fue confirmada mediante el test de Shapiro-Wilk, con la excepción del índice de reactividad. Por consiguiente, para analizar las relaciones entre todas las variables se utilizó la correlación momento producto de Pearson y los coeficientes de determinación, mientras que para investigar las relaciones con el índice de reactividad se utilizó el coeficiente rho de Spearman. Luego de esto, para determinar los efectos combinados de las variables que se correlacionaban significativamente en CODS se utilizó la regresión múltiple por pasos. La significancia se fijó en  $P < 0,05$ . Los datos se presentan en forma de media  $\pm$  SD. El análisis estadístico se realizó con el software SPSS v14 (Chicago,

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los datos descriptivos de todas las variables. Se observaron las correlaciones significativas entre la prueba 505 y salida lanzada de 5 m, esprint de 5 m, press de pierna, fuerza concéntrica del extensor de la rodilla, fuerza excéntrica del extensor de rodilla, fuerza concéntrica del flexor de la rodilla, fuerza excéntrica del flexor de la rodilla y altura del salto contramovimiento (CMJ). Todas las correlaciones de Pearson y su significancia pueden observarse en la Tabla 2. Las correlaciones entre CODS y los valores de fuerza normalizados (Tabla 3) fueron similares a las relaciones observadas con los valores de fuerza absoluta. La correlación de Spearman entre la prueba 505 y el índice de reactividad del salto DJ mostró una relación baja no significativa ( $p = -0,296$ ,  $gl = 35$ ,  $p = 0,076$ ).

Variable	Media (SD)
Prueba de agilidad 505 (s)	2,34 (0,12)
Esprint de 5 m (s)	1,08 (0,07)
Salida lanzada de 5 m (s)	0,65 (0,05)
Press de piernas (kg)	190,74 (41,5)
Press de piernas normalizado ( $kg/bw^{0,57}$ )	10,3 (1,6)
Con Ext Isocinético (Nm)	203,58 (48,4)
Con Ext Isocinético normalizado ( $Nm/bw^2$ )	2,64 (0,47)
Ecc Ext Isocinético (Nm)	232,95 (62,72)
Ecc Ext Isocinético normalizado ( $Nm/bw^2$ )	3,04 (0,69)
Con Flex isocinético (Nm)	148,40 (32,66)
Con Flex isocinético normalizado ( $Nm/bw^2$ )	1,93 (0,33)
Ecc Flex isocinético (Nm)	175,06 (37,62)
Ecc Flex isocinético normalizado ( $Nm/bw^2$ )	2,28 (0,42)
Altura de CMJ (cm)	38,75 (7,41)
Altura de DJ (cm)	36,69 (8,20)
Índice de reactividad DJ (cm/s)	159,47 (78,8)

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos de todas las variables medidas.

*Nota:* Con Ext = Torque máximo concéntrico del extensor, Ecc Ext = Torque máximo excéntrico del extensor, Con Flex = Torque máximo concéntrico del flexor, Ecc Flex = Torque máximo excéntrico del flexor, CMJ = salto contramovimiento, DJ = salto pliométrico.

	Prueba 505	Esprint de 5m	Salida lanzada de 5m	Press de piernas	Con Ext	Ecc Ext	Con Flex	Ecc Flex	Altura del CMJ	Altura del DJ
Prueba 505	1									
Esprint de 5 m	0,518**	1								
Salida lanzada de 5 m	0,777**	0,592**	1							
Press de piernas	-0,371*	-0,310	-0,320	1						
Con Ext	0,544**	-0,362*	-0,494**	0,648**	1					
Ecc Ext	0,529**	-0,347*	-0,467**	0,568**	0,801**	1				
Con Flex	0,549**	0,459**	-0,534**	0,628**	0,759**	0,618**	1			
Ecc Flex	0,626**	-0,398*	-0,494**	0,508**	0,805**	0,739**	0,777**	1		
Altura del CMJ	0,498**	0,520**	-0,637**	0,150	0,301	0,159	0,435**	0,317	1	
Altura del DJ	-0,291	0,477**	-0,550**	0,158	0,230	0,107	0,311	0,258	0,749**	1

**Tabla 2.** Correlaciones entre todas las variables determinadas

Nota: Con Ext = Torque máximo concéntrico del extensor, Ecc Ext = Torque máximo excéntrico del extensor, Con Flex = Torque máximo concéntrico del flexor, Ecc Flex = Torque máximo excéntrico del flexor, CMJ = salto contramovimiento, DJ = salto pliométrico.\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$

Variable	r
Press de piernas normalizado	-0,446**
Con Ext isocinético normalizado	-0,568**
Ecc Ext isocinético normalizado	-0,506**
Con Flex isocinético normalizado	-0,560**
Ecc Flex isocinético normalizado	-0,592**

**Tabla 3.** Correlaciones obtenidas entre la velocidad de cambio de dirección y los valores de fuerza normalizados en función del peso corporal.

Nota: Con Ext = Torque máximo concéntrico del extensor, Ecc Ext = Torque máximo excéntrico del extensor, Con Flex = Torque máximo concéntrico del flexor, Ecc Flex = Torque máximo excéntrico del flexor, CMJ = salto contramovimiento, DJ = salto pliométrico.\*\*  $p < 0,01$

A partir de los coeficientes de determinación (Tabla 4), tiempo de salida lanzada de 5m explicó la mayor varianza en el rendimiento de CODS (explicó el 60,4% de la varianza). De las variables de fuerza, la fuerza excéntrica del flexor de la rodilla presentó el mayor coeficiente de determinación (explicó el 39,2% de la varianza), seguido muy de cerca por las otras variables isocinéticas (ver tabla 4).

En la regresión múltiple por pasos, la salida lanzada de 5 m fue ingresado primero y explicó el 58% de la varianza en el rendimiento de CODS ( $F_{1,33} = 45,796$ ,  $p < 0,001$ ). La fuerza excéntrica del flexor de rodillas fue ingresada en segundo lugar y explicó un 9% adicional ( $F_{1,32} = 8,781$ ,  $p = 0,006$ ). Los valores mayores de CODS se asociaron con una mayor velocidad de esprint lineal y fuerza excéntrica de isquiotibiales. La adición de las otras variables isocinéticas, de esprint de 5 m y altura del CMJ no proporcionaron un aumento significativo de la varianza explicada en el rendimiento de CODS.

Variable	R <sup>2</sup>
Salida lanzada de 5 m	0,604
Ecc Flex isocinético	0,392
Ecc Flex isocinético normalizado	0,350
Con Ext isocinético normalizado	0,323
Con Flex isocinético normalizado	0,314
Con Flex isocinético	0,301
Con Ext isocinético	0,296
Ecc Ext isocinético	0,279
Esprint de 5 m	0,269
Ecc Ext isocinético normalizado	0,256
Altura del CMJ	0,248
Press de piernas normalizado	0,199
Press de piernas	0,138
Altura del DJ	0,085
Indice de reactividad del DJ	0,052

**Tabla 4.** Coeficientes de determinación de las relaciones entre el la velocidad del cambio de dirección y las variables de esprint y de fuerza.

*Nota:* Con Ext = Torque máximo concéntrico del extensor, Ecc Ext = Torque máximo excéntrico del extensor, Con Flex = Torque máximo concéntrico del flexor, Ecc Flex = Torque máximo excéntrico del flexor, CMJ = salto contramovimiento, DJ = salto pliométrico.

## DISCUSIÓN

El objetivo del estudio presente fue examinar la relación de la velocidad de cambio de dirección (CODS) con diferentes cualidades de la velocidad y de la fuerza. Los resultados sugieren que la capacidad de esprint lineal está altamente relacionada a la CODS. Esta relación ha sido explorada considerablemente en la literatura y se han obtenido resultados amplios y contradictorios (4, 8, 7, 10, 9, 21).

Investigaciones previas que utilizaron la prueba 505 o un cambio de dirección similar de 180°, han arrojado resultados contradictorios. Draper y Lancaster (4) no observaron ninguna relación entre la prueba 505 y el rendimiento de esprint de 20 m, mientras que Graham-Smith y Pearson (6) informaron un coeficiente de determinación de 65,6% entre un esprint de 15 m y una prueba similar con giro de 180°. Nuestros resultados concuerdan con los últimos resultados, apoyando la observación que la velocidad lineal esta más relacionada con el rendimiento de CODS de lo que se ha sugerido previamente. Las investigaciones que involucran acciones de cambio de dirección generalmente muestran una falta de relación entre la velocidad y la capacidad de cambiar de dirección.

Young et al., (8) observaron correlaciones bajas y no significativas de 0,27 y 0,19 entre esprint de 20 m y 3 × 90° y 3 × 120°, respectivamente, aunque Buttifant et al. (7) observaron un bajo coeficiente de determinación (5-10%) entre esprint de 20 m y pruebas de agilidad similares con zig-zag. Además, Little y Williams (9) encontraron una relación baja entre un esprint con salida lanzada de 20 m y una prueba de agilidad con zig-zag ( $r = 0,458$ ,  $r^2_{12} = 0,209$ ) en jugadores de fútbol profesionales. Sin embargo, resultados mas recientes de Vescovi y McGuigan (21) revelaron algunas correlaciones moderadamente fuertes entre varias acciones de esprints con salida detenida (18,3, 27,4 y 36,6 m) y esprints con salida lanzada (9,1 y 18,3 m) y pruebas de agilidad de Illinois y pruebas pro-agilidad (algunos  $r > 0,7$ ).

Varias diferencias metodológicas pueden explicar el amplio rango de resultados encontrados en la literatura, como el tipo de velocidad y las pruebas de CODS usadas, el tamaño de la muestra y los sujetos que participaron en cada estudio. Vescovi y McGuigan (21) utilizaron un número alto de jugadores de fútbol y de lacrosse secundarios y universitarios, mientras que Graham-Smith y Pearson (6) realizaron su estudio con estudiantes de deportes. El estudio presente también fue realizado con deportistas universitarios, lo que podría explicar la similitud en los resultados con los estudios mencionados previamente. En contraste, otros estudios realizados con deportistas de mayor nivel observaron relaciones

bajas o no significativas entre la velocidad y agilidad / CODS. Little y Williams (9) utilizaron jugadores de fútbol profesionales, Draper y Lancaster (4) realizaron su estudio con jugadores de hockey estatal y jugadores de fútbol australianos, Buttifant et al., (7) emplearon jugadores de fútbol menores nacionales y estatales, mientras que Young et al., (8) utilizaron un pequeño grupo de jugadores de fútbol americano con reglas australianas. Los resultados sugieren que en niveles bajos de rendimiento y durante las fases tempranas de desarrollo del atleta, una mejora básica en la velocidad puede producir una mejora en el rendimiento de CODS.

Era esperable que la capacidad de aceleración pudiera explicar la variación en el rendimiento de CODS, dado que un aspecto principal de la prueba 505 es la re-aceleración a partir del giro de 180°. En el estudio presente se observó una correlación moderada significativa, pero luego del análisis de regresión múltiple la capacidad de aceleración no pudo explicar ninguna variación adicional en el tiempo de regreso luego de la velocidad y la fuerza excéntrica del flexor de la rodilla. Resultados similares han sido informados entre un esprint de 10 m y una prueba de zig zag  $3 \times 100^{\circ}$  (9) con una menor correlación significativa ( $r = 0,346$ ) y un menor coeficiente de determinación ( $r^2 = 0,119$ ) que en el estudio presente ( $r=0,518$  y  $r^2=0,269$ , respectivamente).

Vescovi y McGuigan (21) también observaron correlaciones débiles a moderadas entre esprint de 9,1 m y los test de Illinois y de pro-agilidad ( $r = 0,297$  a  $0,671$ ). Además, los autores observaron que las relaciones más fuertes eran evidentes en esprints más largos ( $r = 0,460$  a  $0,831$ ) y en mayores tiempos de esprint con salida lanzada ( $r = 0,583$  a  $0,771$ ), lo que de hecho puede sugerir que la velocidad estaría relacionada más fuertemente a CODS que la aceleración.

Se ha propuesto que la inconsistencia de las relaciones encontradas entre la capacidad de aceleración y el rendimiento de CODS, se debería a los diferentes requisitos mecánicos de la ejecución de las diferentes acciones. En la aceleración 'lineal', los sujetos están enfrentando la dirección de movimiento, lo que no ocurre en la etapa de "re-aceleración" de la prueba 505 o cualquier otra tarea de regreso, cuando el sujeto inicialmente está enfrentando hacia adelante la dirección original que debe recorrer, y luego tiene que girar la cabeza, los hombros y la cadera antes de dar el primer paso para acelerar en la nueva dirección. Esto llevaría a una ejecución técnicamente diferente del primer paso, afectando potencialmente la aceleración final.

Esperábamos que la fuerza reactiva y excéntrica fueran cualidades de fuerza importantes para explicar la varianza en CODS, debido al acoplamiento reactivo excéntrico-concéntrico que actúa durante la fase de una acción de CODS (11). Sin embargo, en el estudio presente obtuvimos correlaciones no significativas muy bajas entre la altura de rebote del DJ y el índice de reactividad con el rendimiento en la prueba 505. Se observó una correlación significativamente moderada ( $r = 0,50$ ) entre la altura del CMJ y el rendimiento en la prueba 505, lo que sugiere que la fuerza reactiva lenta está más estrechamente vinculada con CODS que la fuerza reactiva rápida. Debemos destacar que la duración del movimiento típica para un CMJ es aproximadamente 0,5 s o mayor, y por lo tanto podrían asemejarse más a los tiempos de contacto de CODS.

Si bien en este estudio no se midieron los tiempos de contacto del cambio de dirección, las investigaciones previas han observado tiempos de contacto medios mayores a 0,4 s (6, 13). El valor de Media  $\pm$  SD de los tiempos de contacto del DJ en este estudio fueron  $0,27 \pm 0,1$  y se solicitó a los sujetos que intentaran tener tiempos de contacto cortos.

Además, tal como se demostró en la matriz de correlación (Tabla 2), la altura de rebote del DJ ( $r = -0,36$ ), índice de reactividad ( $r = -0,55$ ) y altura del CMJ ( $r = -0,64$ ) presentaron coeficientes de correlación aumentados con el rendimiento de velocidad lineal, y podría postularse que esto se debe a que los tiempos de contacto con el suelo durante el esprint lineal serían similares a los tiempos de contacto o movimiento durante las pruebas de salto.

Los resultados del estudio presente demostraron cierta similitud con los resultados de investigaciones anteriores. Barnes et al. (13) observaron una correlación moderada significativa ( $-0,58$ ) entre la altura de CMJ y 4 esprints de 5 metros con 3 giros  $\times 180^{\circ}$  y que la capacidad de CMJ sería un estimador significativo (34%) de la varianza de la tarea de agilidad. En este estudio la altura de rebote de DJ presentó una correlación baja no significativa de  $-0,32$  con la prueba de agilidad. Vescovi y McGuigan (21) obtuvieron correlaciones moderadas significativas de  $-0,477$  a  $-0,698$  para las pruebas de Illinois y  $-0,358$  a  $-0,613$  para la prueba de pro de-agilidad con el rendimiento de CMJ en los diferentes grupos de jugadores de fútbol y lacrosse. Otra investigación (8) obtuvo valores bajos no significativos entre el rendimiento de CMJ ( $r = -0,1$ ), CMJ con carga ( $r = 0,01$ ) y DJ ( $r = 0,3$ ) y una prueba de esprint de  $3 \times 90^{\circ}$  y las mismas 3 variables ( $r = -0,2$ ,  $r = -0,04$ ,  $r = 0,15$ ) y una prueba de esprint  $3 \times 120^{\circ}$ , respectivamente. Sólo Young et al., (2) obtuvieron algunas correlaciones moderadas significativas entre el rendimiento en DJ bilateral y la agilidad.

Tal como esperábamos, la fuerza excéntrica demostró ser una cualidad de fuerza importante para un buen rendimiento en CODS. Sin embargo, la fuerza excéntrica del flexor de rodilla demostró una relación mayor con el rendimiento en CODS que el rendimiento del extensor de rodilla. Se esperaba que la fuerza excéntrica del cuádriceps fuera importante en un giro  $180^{\circ}$  para controlar la flexión de la rodilla durante el contacto con el suelo, cuando la fuerza de reacción contra el suelo que actúa sobre la extremidad inferior es alta. No obstante, el hallazgo que la fuerza excéntrica de isquiotibiales está mas

relacionada con el rendimiento de CODS que la fuerza excéntrica de los cuádriceps, también es razonable para ayudar a generar el torque excéntrico del extensor de la cadera con el fin de mantener la posición del tronco durante la desaceleración y el control de la flexión de la rodilla simultáneamente durante el giro. Pocos estudios han investigado las relaciones entre la agilidad y fuerza isocinética. Graham-Smith y Pearson (6) usando una prueba de giro de 180° similar, observaron coeficientes de determinación para la fuerza isocinética concéntrica de extensores de rodillas de 43,3% y fuerza isocinética excéntrica de extensores de rodillas de 42,1% que eran considerablemente más altos que los obtenidos en el estudio presente, 29,6 y 27,9%, respectivamente. Sin embargo, dado que este estudio sólo se presentó en forma de resumen no fue posible obtener una visión más detallada de los métodos para poder interpretar las diferencias. Negrete y Brophy (12) obtuvieron una correlación moderada significativa ( $r = -0,537$ ) entre la fuerza isocinética concéntrica del extensor de rodillas y un test funcional bastante complejo que incorporaba cambios de dirección, la cual justifica los resultados presentes ( $r = -0,544$ ).

Anticipamos que la fuerza reactiva, medida por la altura de rebote del salto, y el índice de reactividad tendrían una relación más fuerte con CODS, debido al hecho que la fase del contacto de una acción de cambio de dirección pondría una mayor exigencia sobre el ciclo de estiramiento acortamiento (11). La relación baja observada entre los parámetros anteriores y el rendimiento de CODS podría atribuirse a una falta de especificidad de tarea entre la prueba de salto pliométrico y la fase de contacto de la prueba 505. El test de salto pliométrico acentúa la generación de fuerza en la dirección vertical y minimiza el tiempo del contacto, mientras que la fase del contacto del giro durante la prueba 505 involucraría la generación de fuerza a lo largo de los 3 componentes de fuerza para frenar el momento horizontal del sujeto. El test de salto pliométrico usado también fue un test de fuerza de piernas bilateral, mientras que el giro de la prueba 505 fue realizado con una sola pierna dominante. Las futuras investigaciones deberían considerar la medición la fuerza reactiva del salto pliométrico en ambas direcciones en lugar de evaluarla solamente en la dirección vertical. Stålbom et al. (22) propusieron un test de salto pliométrico con una sola pierna que consistía en un salto horizontal que involucraba la generación de fuerza vertical y horizontal y podría permitir observar relaciones más fuertes con acciones deportivas como el CODS.

Una limitación del estudio presente fue la elección del test de velocidad lineal usado. El tiempo de salida lanzada de 5 m utilizado para estimar la capacidad de velocidad máxima de los sujetos fue medido entre los 20-25m, porque los esprinters principiantes alcanzan la velocidad máxima mucho más temprano que los esprinters de élite (entre 20 y 40 m; 11).

Una verdadera estimación de la velocidad máxima debería prolongar el esprint porque los mejores esprinters estándar podrían haber alcanzado la velocidad máxima más tarde en el esprint y por lo tanto podría haberse producido una subestimación de la capacidad de velocidad máxima. Por lo tanto, el estudio presente sugiere que la observación que la capacidad de esprint tendría alguna influencia en el rendimiento de CODS, debería ser confirmada con deportistas de mayor nivel.

Un aspecto importante del estudio actual por sobre las investigaciones previas fue que se investigaron los efectos combinados de los diferentes factores físicos medidos por medio de regresión múltiple. Los resultados del estudio presente sugieren que para aumentar el rendimiento de agilidad, el desarrollo de la velocidad básica de esprint lineal proporcionaría alguna ayuda, sin embargo, los deportistas también deberían mejorar el control neuromuscular del giro aumentando la fuerza excéntrica de los músculos flexores de la rodilla. Además, las investigaciones futuras deberían revisar estos parámetros utilizando deportistas de élite para obtener mejores conocimientos sobre cómo el rango de factores físicos afectan la velocidad y el rendimiento de agilidad. Al trabajar con deportistas de élite que pueden moverse más rápidamente, se podría ejercer una mayor exigencia sobre el control neuromuscular durante el giro. Esto proporcionaría una comprensión mayor del diseño de los programas de acondicionamiento para los deportes con grandes exigencias en velocidad y rendimiento de agilidad.

Las futuras investigaciones también deberían investigar el efecto combinado de los factores antropométricos, técnicos y físicos, así como las habilidades de toma de decisión en CODS. Actualmente, ninguna investigación ha analizado la técnica de CODS para el rendimiento y prevención de lesiones, lo que es algo sorprendente dado que como una metodología de entrenamiento de la velocidad, ésta sería la manera fundamental para desarrollar el rendimiento de agilidad de un individuo (11). Sheppard y Young (1) y Young y Farrow (3) en sus trabajos de revisión sobre agilidad presentaron un modelo determinístico de agilidad y sugirieron que el componente técnico de CODS podría depender de la colocación del pie, del ajuste de los pasos para acelerar y desacelerar, de la masa magra corporal y de la postura. Sin embargo, según nuestros conocimientos solamente un estudio ha investigado la influencia de estos factores técnicos en la CODS (6), y el mismo se limitó a un análisis en dos dimensiones. Investigaciones adicionales sobre los determinantes técnicos de CODS también podrían ayudar a explicar de qué manera se vinculan los factores físicos mencionados con la CODS.

## CONCLUSIÓN

---

En resumen, el estudio presente investigó las relaciones entre diferentes cualidades de velocidad y de fuerza en CODS. La velocidad de esprint fue el factor físico más importante en el rendimiento de CODS seguida por la fuerza excéntrica del flexor de la rodilla y explicó una proporción grande de la varianza en el rendimiento de CODS. Otros factores como la fuerza isocinética concéntrica del extensor y del flexor de la rodilla, la fuerza excéntrica del extensor, el rendimiento en salto contramovimiento y la capacidad de aceleración, presentaron todas correlaciones moderadas significativas con el rendimiento de CODS, lo que resalta que el rendimiento de CODS es una función de varios atributos físicos diferentes. Los resultados sugieren que para lograr mejoras básicas en el rendimiento de CODS, los atletas deben intentar aumentar al máximo su capacidad de esprint y reforzar la fuerza excéntrica de los flexores de la rodilla para permitir un control neuromuscular eficaz de la fase de contacto de la acción de CODS. Las investigaciones futuras deben validar tales resultados en deportistas de élite en deportes que posean grandes exigencias de agilidad.

## REFERENCIAS

---

1. Sheppard JM, Young WB (2006). Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci*; 24:919-32
2. Young WB, James R, Montgomery L (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction? . *J Sports Med Phys Fitness*; 43:282-8
3. Young WB, Farrow D (2006). A review of agility: practical applications for strength and conditioning. *Strength Cond J*; 28:24-9
4. Draper JA, Lancaster MG (1985). The 505 test: a test for agility in the horizontal plane. *Aust J Sci Med Sport*;17:15-8
5. Cureton, T (1951). Physical Fitness of Champions. *Urbana, IL: University of Illinois Press*
6. Graham-Smith P, Pearson SJ (2005). An investigation into the determinants of agility performance. Proceedings of the 3rd International Biomechanics of the Lower Limb in Health, Disease and Rehabilitation; 2005 Sept 5-7; Manchester, United Kingdom. *Manchester: The University of Salford*
7. Buttifant D, Graham K, Cross K (2002). Agility and speed in soccer players are two different performance parameters. In: *Spinks W, editor. Science and Football IV. London: Routledge; p .329-32*
8. Young WB, Hawken M, McDonald L (1996). Relationships between speed, agility and strength qualities in Australian Rules football. *Strength Cond Coach*; 4:3-6
9. Little T, Williams AG (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J Strength Cond Res*;19:76-8
10. Young WB, McDowell MH, Scarlett BJ (2001). Specificity of sprint and agility training methods. *J Strength Cond Res*;15:315-9
11. Plisk SS (2000). Speed, agility, and speed endurance development. In: *Baechle TR, Earle RW, editors. Essentials of Strength Training and Conditioning (2nd 4 Edition). Champaign, Illinois: Human Kinetics; p.471-91*
12. Negrete R, Brophy J (2000). The relationship between isokinetic open and closed chain lower extremity strength and functional performance. *J Sports Rehab*; 9:46-61
13. Barnes JL, Schilling BK, Falvo MJ, Weiss LW, Creasy AK, Fry AC (2007). Relationship of jumping and agility performance in female volleyball athletes. *J Strength Cond Res*; 21:1192-6
14. Atkinson G, Reilly T (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Med*; 21:292-312
15. Yeadon, M.R., Kato, T., and Kerwin (1999). D.G. Measuring running speed using photocells. *J. Sports Sci*;17:249-257
16. Jidovtseff, B., Croisier, J.L., Lhermerout, L., Sac, D., Crielaard, J.M (2006). The concept of iso inertial assessment: reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinetics Exerc Sci*;14:53-62
17. Baltzopoulos V (1997). Isokinetic Dynamometry. In: Bartlett R, editor. *Biomechanical analysis of movement in sport and exercise. Leeds: British Association of Sport and Exercise Sciences; p. 53-66*
18. Jaric S (2002). Muscle strength testing: use of normalization for body size. *Sports Med*; 32:615-31
19. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc*;22:825 - 33
20. Young WB, Pryor JF, Wilson GJ (1995). Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J Strength Cond Res*; 9:232-6
21. Vescovi JD, McGuigan MR (2008). Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci*;26:97-107
22. Stålbom M, Holm DJ, Cronin JB, Keogh JWL (2007). Reliability of kinematics and kinetics associated with horizontal single leg drop jump assessment: a brief report. *J Sports Sci Med*; 6:261-4

### Cita Original

Jones, Paul, Bampouras, T. and Marrin, K. An investigation into the physical determinants of change of direction speed. Sport and Recreation: Journal Articles (Peer-Reviewed). Paper 1. (2009).