

Selected Papers from Impact

Asociación de Ejercicios de Fuerza y Pliométricos con Rendimientos de Cambio de Dirección

Association of Strength and Plyometric Exercises with Change of Direction Performances

Hallvard Nygaard Falch, Håvard Guldteig Rædergård y Roland van den Tillaar

Department of Sport Science and Physical Education, Nord University, Levanger, Norway

RESUMEN

La capacidad de cambio de dirección (COD) es una habilidad específica de acciones importantes para el éxito en los deportes de equipo, que depende tanto de la fuerza como de la fuerza reactiva. El sprint al aproximarse al COD y los grados de giro son factores que influyen en la especificidad del COD. Por lo tanto, se ha sugerido que los CODs se clasifiquen como dominantes de fuerza ($>90^\circ$) y de velocidad ($<90^\circ$), dependiendo del grado de giro. Cuando los programas de entrenamiento no logran proporcionar un aumento significativo en el desempeño del COD, a menudo se debe a que se descuidan las demandas específicas de la acción del COD. Como tal, 23 jugadores de fútbol masculino se ofrecieron como voluntarios para completar un ensayo controlado aleatorio, investigando la asociación de la fuerza máxima y el rendimiento de potencia con el rendimiento en un COD con dominancia en fuerza (180°) y en velocidad (45°), con 4 m y 20 m de sprint de acercamiento. Se utilizaron tres ejercicios de fuerza y tres ejercicios pliométricos, emparejados en patrones de movimiento. También se comparó la actividad muscular de las diferentes condiciones. El análisis de correlación reveló que un mejor rendimiento en los tests pliométricos se asoció con menos tiempo para completar los CODs dominantes tanto de fuerza como de velocidad, respaldado por similitudes en la activación muscular. Ninguno de los rendimientos en los ejercicios de fuerza se correlacionó con el rendimiento de COD, debido a la lenta velocidad de contracción de los levantamientos máximos. Se concluyó que los ejercicios pliométricos comparten más similitudes físicas con los CODs que los ejercicios de fuerza.

Palabras Clave: Fuerza muscular, pliomería, cambios de dirección, COD

ABSTRACT

The change of direction (COD) ability is an important task-specific skill for success in team sports, dependent on both strength and reactive strength. The sprint approaching the COD and degrees of the turn are factors influencing the specificity of the COD. Thus, CODs have been suggested to be categorized as force- ($> 90^\circ$) and velocity-dominant ($< 90^\circ$) dependent on the degree of the turn. When training programmes fail to provide a significant increase in COD performance, it is often due to neglecting the task-specific demands of the COD. As such, 23 male football players volunteered to complete a randomized controlled trial, investigating the association of maximal strength and power performance with performance in a force- (180°) and velocity-dominant (45°) COD, with a 4 m and 20 m sprint approach. Three strength and three plyometric exercises, matched in movement patterns, were used. Muscle activity of the different conditions was also

compared. The correlational analysis revealed that better performance in the plyometric tests were associated with less time to complete both force- and velocity-dominant CODs, supported by similarities in muscle activation. None of the performances in strength exercises correlated to COD performance, due to the slow contraction velocity of maximal lifts. It was concluded that plyometrics share more physical similarities with CODs than the strength exercises.

Keywords: Muscle strength, plyometrics, direction changes, COD

INTRODUCCIÓN

Los deportes de campo requieren un conjunto de habilidades físicas diferentes para tener éxito en la competencia [1-3], como la capacidad de moverse rápido con cambios de dirección para vencer al oponente, lo que influye en gran medida en el rendimiento general [4]. Estos movimientos rápidos son importantes debido a la corta duración de los momentos decisivos del partido y pueden ser la diferencia entre marcar o conceder un gol [5-8]. Sin tener en cuenta la percepción, el concepto utilizado en la terminología de la investigación es la capacidad de cambio de dirección (COD) [9]. El COD depende de la capacidad física de los atletas para acelerar, desacelerar y volver a acelerar en una nueva dirección [10,11]. En investigaciones anteriores se ha descubierto que la capacidad de COD es un factor que distingue a los atletas de élite y de sub-élite [7,12,13]. Dado que las mejoras en la capacidad de COD pueden conducir a un mayor rendimiento general en los deportes de campo [14], el cómo mejorar los componentes físicos decisivos del rendimiento del COD, es de interés para los entrenadores de la fuerza y del acondicionamiento físico. Los CODs son movimientos dinámicos rápidos, donde el objetivo es ejercer tanta fuerza como sea posible, en un corto período de tiempo. Por tanto, la fuerza máxima, la fuerza reactiva y la potencia de las extremidades inferiores son factores que se cree que influyen en el rendimiento del COD [15].

Así, las intervenciones de entrenamiento de fuerza y pliométrico se utilizan a menudo para tratar de mejorar el rendimiento del COD, implementando diferentes variaciones de sentadillas realizadas de forma bilateral y unilateral, con movimientos tanto en dirección vertical como lateral [16-22]. El entrenamiento pliométrico a menudo incluye saltos en caída [23-27] y/o saltos con contramovimiento [28-33] con variaciones en las fuerzas de reacción del suelo producidas. El efecto de las diferentes intervenciones de entrenamiento varía, pero el hecho de no inducir efectos grandes y significativos a menudo se debe a una falta de especificidad en los patrones de movimiento entre los ejercicios elegidos y el test seleccionado para medir el rendimiento del COD [34]. Generalmente, se descuida la naturaleza específica de la acción de la capacidad del COD [35], que depende del número de giros, el ángulo de cambio de dirección y la distancia de sprint recorrido [10,34,36,37]. Por lo tanto, los ejercicios utilizados para mejorar el rendimiento del COD deben ser similares en cuanto a patrones de movimiento, dirección de la producción de fuerza y tiempo para ejercer la fuerza, como argumentó en una revisión de Falch, Rædergård [34]. Bourgeois, McGuigan [36] también argumentaron a favor de considerar el carácter distintivo de diferentes CODs, enfatizando la velocidad que se aproxima al giro y los grados del giro. Además, se sugirió que los CODs se clasificaran como dominantes en fuerza ($>90^\circ$) o en velocidad ($<90^\circ$), según el grado de giro [36].

Se sugiere que el entrenamiento de la fuerza es más efectivo para desarrollar el COD de fuerza dominante, mientras que el entrenamiento pliométrico es más efectivo para desarrollar el espectro de cualidades que influyen en el rendimiento del COD [34]. Sin embargo, según el mejor conocimiento de los autores, ningún estudio ha investigado específicamente las similitudes de las medidas de rendimiento en ejercicios de fuerza y pliométricos con CODs propuestos con fuerza y velocidad dominantes. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue investigar la relación del rendimiento en los CODs dominantes de fuerza (180°) y de velocidad (45°) desde diferentes distancias de aproximación (4 m vs 20 m), con rendimiento en diferentes tests de fuerza y pliométricos. Para comprender mejor la relación del ejercicio y el rendimiento del CODs, se agregó un segundo objetivo de comparar la activación muscular entre las diferentes condiciones.

La pregunta de interés es si el rendimiento y la activación muscular en las pruebas de fuerza podrían explicar mejor el rendimiento y la activación muscular en el COD de fuerza dominante, y viceversa, las pruebas pliométricas y el COD de velocidad dominante. Un mayor conocimiento sobre las similitudes en la activación muscular y la asociación en las medidas de rendimiento entre las pruebas de fuerza y las pliométricas en comparación con los CODs dominantes en fuerza y en velocidad puede conducir a una mayor comprensión en el desarrollo de programas de entrenamiento más específicos. Se planteó la hipótesis de que el rendimiento y la activación muscular en las pruebas pliométricas predecían mejor el rendimiento del COD en ambos CODs, debido a las similitudes en el tiempo para ejercer la fuerza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Veintitrés jugadores masculinos de fútbol con experiencia (edad: 22.5 ± 2.6 años, altura: 181.3 ± 6.3 cm, masa corporal: 79.9 ± 8.6 kg), reclutados de la segunda a la sexta división de la liga nacional noruega y participaban en entrenamientos de fútbol durante un mínimo de dos veces a la semana, participaron en el estudio. Todos los participantes dominaban el pie derecho, definido como el pie preferido para patear el balón. Se informó a cada sujeto que evitara un entrenamiento pesado y el consumo de alcohol con un mínimo de 24 horas antes de los tests y se le explicaron los procedimientos adicionales y los riesgos de participación a cada participante. Antes de las pruebas, los participantes proporcionaron un consentimiento informado por escrito firmado, que fue aprobado por el proyecto del Centro Noruego de Datos de Investigación nr: 42440 y realizado de acuerdo con la declaración de Helsinki y del *journal* de publicación [38].

Diseño experimental

Se empleó un diseño intraindividual, en el que todos los participantes realizaron una serie de diferentes pruebas de COD, tests de fuerza y tests pliométricos en una ocasión de evaluación. Esto se realizó para investigar la asociación de las medidas de rendimiento en las pruebas de fuerza y pliométricas con el rendimiento en los CODs dominantes en fuerza y en velocidad. Los datos de la activación muscular se recopilaron a partir de las pruebas para investigar las similitudes en los niveles de actividad entre los diferentes ejercicios.

Procedimientos

Antes de la evaluación, se requirieron dos días de familiarización, practicando los tests de fuerza, tests pliométrico y de COD, para evitar que los resultados del día de la prueba se vieran afectados por un efecto de aprendizaje. Se estableció un mínimo de cuatro días entre cada día de familiarización, para promover la recuperación y establecer una máxima repetición (1MR) en los diferentes ejercicios de fuerza. Se animó a los participantes a realizar un esfuerzo máximo en todos los ejercicios en los días de familiarización para evitar intentos extenuantes innecesarios de establecer la 1MR y para controlar si era su esfuerzo máximo el día de la prueba. El protocolo fue idéntico para los días de familiarización y de testeo, comenzando con la prueba de COD antes de que se realizaran las pruebas de fuerza y de pliometría en un orden aleatorio. Primero, el día de la prueba, se midieron la altura y la masa corporal. Posteriormente, se colocó electromiografía (EMG) en diez músculos de la extremidad inferior dominante antes de vestirse con un traje de captura de movimiento de cuerpo completo. Una vez conectado todo el equipo, se inició el protocolo de calentamiento para la prueba de COD.

El calentamiento consistió en cinco minutos trotando a un ritmo auto-seleccionado, antes de realizar tres carreras con intensidad creciente hasta el 60%, 70% y 80% de la intensidad máxima autopercebida. Posteriormente, los participantes realizaron un calentamiento específico de correr 15 metros, luego girar a la derecha o izquierda con 65° o 110° al 80% de la intensidad máxima autopercebida. En total, se realizaron cuatro carreras (derecha o izquierda: 2×2 : 65° o 110°) en un orden aleatorio con 60 seg de descanso entre cada carrera. Después del calentamiento, la prueba de COD se realizó a la máxima intensidad con un descanso de tres a cinco minutos entre cada intento.

La prueba de COD consistió en un giro de 45° y de 180° con un sprint de 4 m y 20 m acercándose al COD, haciendo cuatro carreras en total (Fig 1). La pista de COD fue diseñada para investigar las extremidades de los giros de fuerza dominante versus de velocidad dominante, mientras se toma en cuenta la distancia de sprint cercana al giro. Todos los CODs consistieron en giros a la izquierda, haciendo que el pie dominante (derecho) realizara el paso del COD. La prueba de COD se realizó en una superficie de cancha cubierta (Taraflex Sport Evolution M 7.0 mm, Unisport, Finlandia). Los participantes comenzaron desde un comienzo parado, con el pie delantero colocado a 20 cm detrás de la línea de salida, ya sea a 4 m o 20 m del área del COD (Fig 1). El participante comenzaba a correr por su cuenta con el máximo esfuerzo. El tiempo comenzaba al cruzar las primeras marcas de cronometraje colocadas a lo largo de una línea de salida de dos metros de largo que corría hacia la zona del COD, donde el sujeto realizaba un giro a la izquierda (45° o 180°) y aceleraba nuevamente 4 m para finalizar la prueba. Para que un intento fuera aprobado para el COD de 45° , el sujeto tenía que girar de derecha a izquierda alrededor de un cono colocado en el punto medio del área del COD. El cono se retiró al realizar el COD de 180° , luego se requirió que ambos pies estuvieran dentro del área del COD (Fig. 1) para que un intento fuera aprobado. En caso de deslizamiento o violaciones de los requisitos debido a cualquier otro evento imprevisto, se requería un nuevo intento. Además, para asegurar el máximo esfuerzo, un intento de prueba que resultaba en una disminución del rendimiento de 0.1 seg o más desde el segundo día de familiarización resultaba en un nuevo intento.

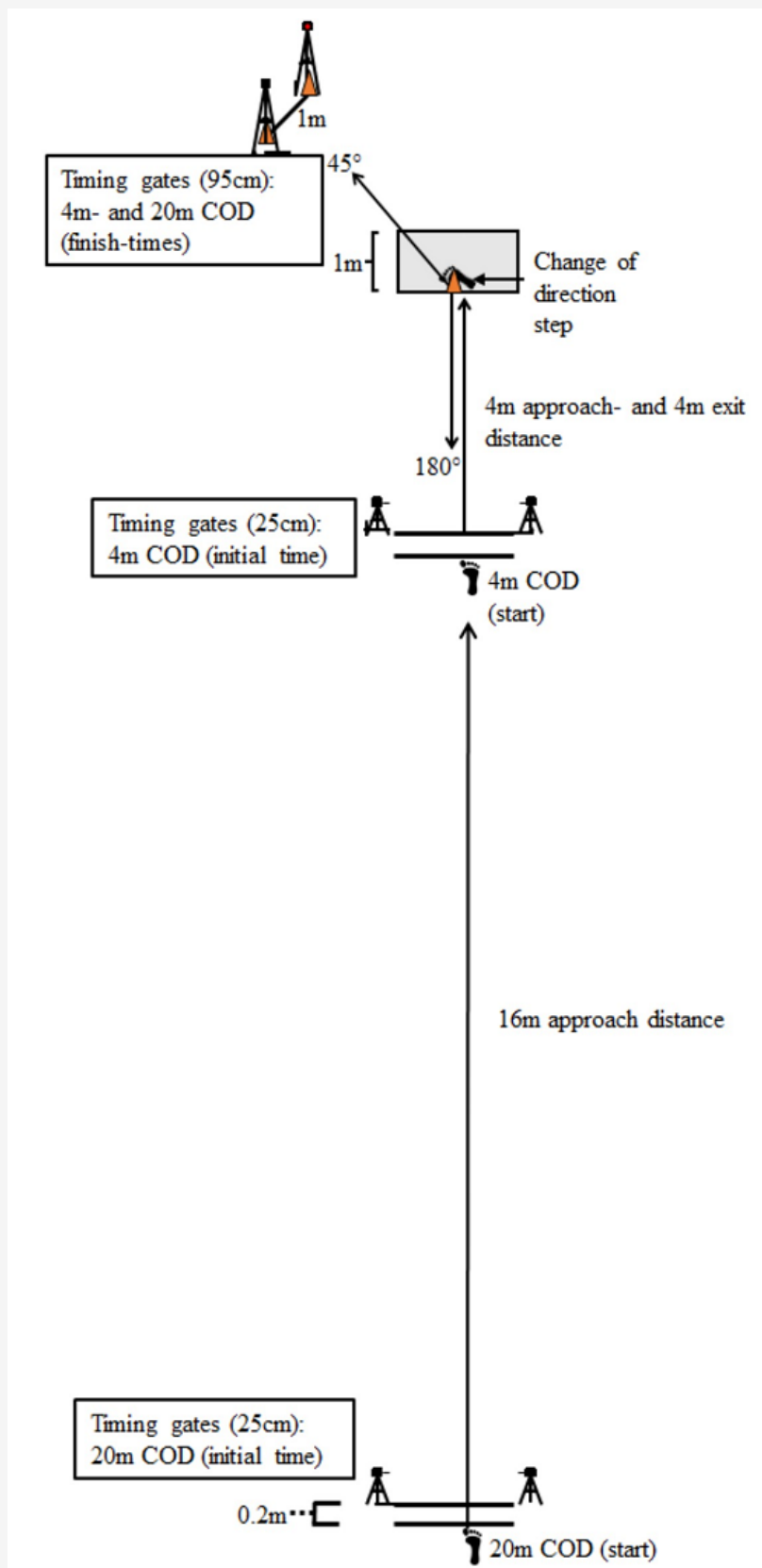


Figura 1. Armado del Test de cambio de dirección configurado con una aproximación de 4 m o 20 m con postes cronometrados en 4 m y 20 m con COD de 45° y 180° seguido de un sprint de 4 m.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.g001>

Después del tests de COD, los ejercicios pliométricos y de fuerza se realizaron en un orden aleatorio (Figuras 2 y 3). Cuando el participante ya había hecho la entrada en calor, el único calentamiento previo a los ejercicios de fuerza y pliométricos consistió en realizar el ejercicio a intensidades submáximas, conduciendo a un intento de esfuerzo máximo. Para cada una de las pruebas de fuerza y pliométricas, el participante tenía tres intentos. Sin embargo, un intento de establecer 1MR en los ejercicios de fuerza fue mayormente suficiente, debido a las estimaciones del segundo día de la familiarización. La técnica de ejecución adecuada (principalmente la profundidad) en los diferentes ejercicios se controló mediante el uso de modelado en 3D. Se hacía un intento adicional si se violaban los requisitos de los tests. El intento de prueba con el rendimiento más alto, dentro de los requisitos de prueba dados, se utilizó para un análisis adicional.

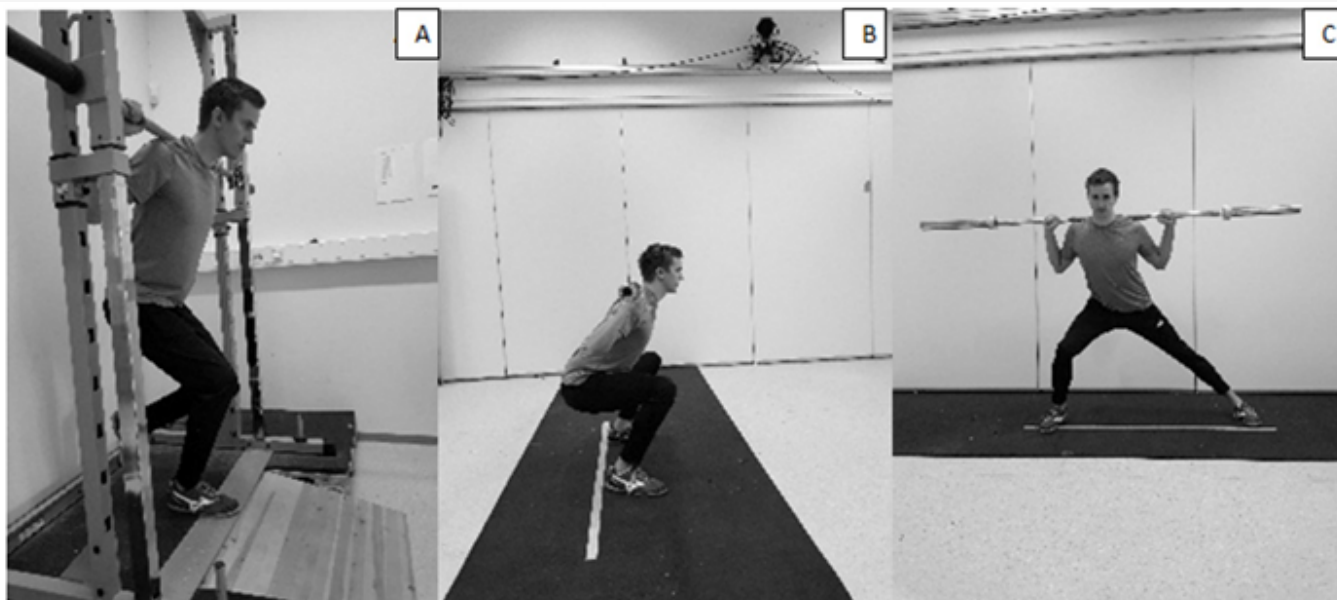


Figura 2. Ilustración de los ejercicios de fuerza.(A) Cuarto de sentadilla unilateral. (B) Sentadilla paralela bilateral. (C) Sentadilla lateral.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.g002>

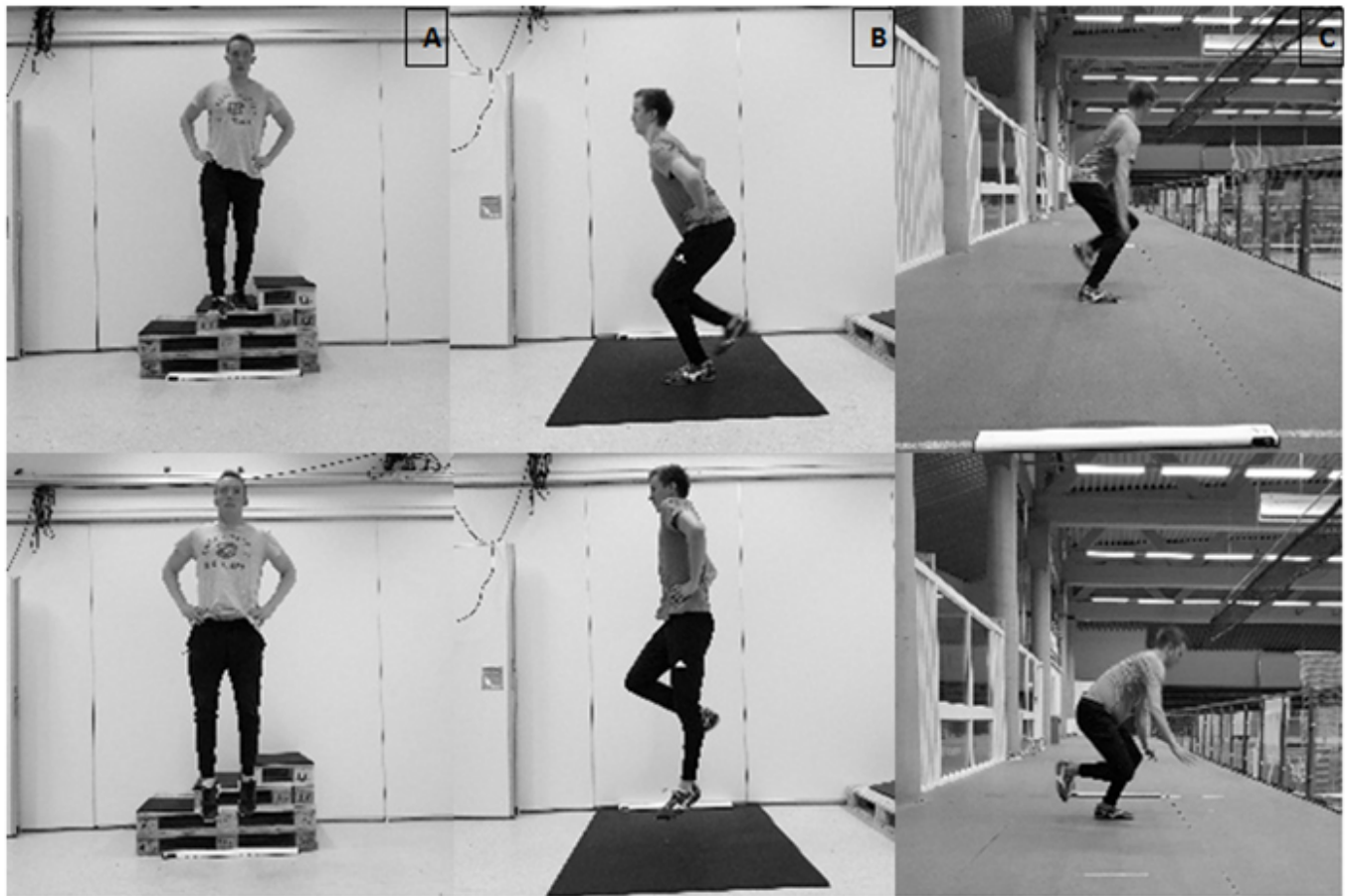


Figura 3. Ilustración de los diferentes ejercicios pliométricos. (A) Salto en caída. (B) Salto con contramovimiento. (C) Salto 'skate'.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.g003>

Los ejercicios elegidos realizados en la dirección vertical realizados de forma bilateral y unilateral se utilizan a menudo en las intervenciones de entrenamiento [10,34] y en las pruebas de fuerza y pliométricas se emparejaron en la dirección del movimiento. Además, se eligieron el salto 'skater' y la sentadilla lateral ya que podían simular la dirección lateral del paso del COD [39]. La sentadilla paralela se realizó de forma bilateral. La profundidad requerida era que una línea visualizada entre la rótula y el trocánter mayor fuera paralela al suelo. La sentadilla unilateral se realizó con el pie dominante en una máquina Smith y flexionando la rodilla hasta llegar a los 40 grados. La sentadilla lateral se realizó moviendo el pie dominante hacia un lado, con una extensión de la cadera iniciando el movimiento. El talón del pie dominante no debe colocarse más adelante que los dedos del pie no dominante. La profundidad del pie dominante debía ser de 90°, mientras que el pie no dominante debía estar estirado.

En el salto con contramovimiento vertical unilateral, la variable de rendimiento fue la altura del salto. La prueba se realizó con el pie dominante, con las manos en posición de 'akimbo' y la espalda recta, limitando el uso de la espalda y los brazos para contribuir al rendimiento del salto. Se requería que el pie no dominante permaneciera pasivo durante todo el salto. El salto en caída se realizó desde una altura de caída personalizada individualmente que variaba de 0.15 a 0.6 metros, que fue encontrada en los días de la familiarización. La altura de caída óptima fue la altura a partir de la cual el sujeto obtuvo el mayor valor del índice de fuerza reactiva (RSI), que fue la variable de rendimiento de la prueba (tiempo de vuelo/tiempo de contacto). El valor RSI se obtuvo mediante una cuadrícula de contactos. Al realizar el salto en caída, las manos estaban en forma 'de jarra'. El salto 'skater' se realizó lateralmente, saltando con el pie dominante para una distancia máxima. Para que un intento fuera aprobado, el sujeto tenía que quedarse quieto en la caída. La distancia se midió manualmente con cinta métrica al 0.01 m más cercano.

Mediciones

El tiempo total para completar la prueba de COD se midió con postes de cronometraje electrónicos (Brower Timing Systems, Salt Lake City, Utah, EE. UU.). El RSI y la altura del salto se lograron utilizando una cuadrícula de contacto óptico infrarrojo (innovación Ergotest, Porsgrunn, Noruega) con una resolución de <0.02 seg. La cuadrícula de contacto

consta de dos unidades, irSOURCE e irMirror, que reflejan una alfombra de infrarrojos a pocos milímetros del suelo. Se registró el tiempo de contacto al interrumpir la alfombra de infrarrojos. La altura del salto se calculó por tiempo de vuelo, usando la ecuación:

$$\text{altura del salto} = 9.81 \cdot (\text{tiempo de vuelo}/2)^2$$

La actividad muscular se midió utilizando EMG (Ergostest Innovation, Porsgrunn Noruega) con una frecuencia de muestreo de 1 kHz. Los sensores EMG se conectaron a electrodos (Zynex Neurodiagnostics, CO, EE. UU.) en diez músculos diferentes de la pierna dominante de los sujetos. La piel tuvo que ser afeitada y lavada con alcohol antes de colocar los electrodos (11 mm de diámetro de contacto y 2 cm de distancia de centro a centro), a lo largo de la dirección de las presuntas fibras musculares en el vasto lateral y medial, recto femoral, aductor largo, bíceps femoral, semitendinoso, sóleo, gastrocnemio, glúteo medio y mayor, según las recomendaciones de Hermens, Freriks [40].

La señal sin procesar de EMG se amplificó y se filtró utilizando un preamplificador ubicado lo más cerca posible del punto de captación para minimizar el ruido inducido desde fuentes externas a través de los cables de la señal. El preamplificador tenía una relación de rechazo en modo común de 106 dB y la impedancia de entrada entre cada par de electrodos era $>1012 \Omega$. A continuación, la señal sin procesar de EMG se filtró en banda (filtro Butterworth de cuarto orden) con frecuencias de corte de 20 Hz y 500 Hz. Las señales EMG resultantes se convirtieron en señales cuadráticas medias (RMS) utilizando una red de circuitos de hardware (respuesta de frecuencia de 450 kHz, promedio constante de 12 ms, error total $\pm 0.5\%$). La señal EMG pico en el paso del COD y el paso de aceleración donde el pie dominante estaba en contacto con el suelo se utilizó para un análisis adicional, junto con el EMG pico en los ejercicios de fuerza y de los ejercicios pliométricos. La EMG se recogió en Musclelab 10.5.69 (Ergotest innovation A.S, Porsgrunn, Noruega) y se sincronizó con una cuadrícula de contactos y un sistema de captura de movimiento en 3D: captura de movimiento Xsens, enlace MVN (Xsens Technologies B.V. Enschede, Países Bajos). Xsens es un sistema de captura de movimiento de cuerpo completo, basado en 17 sensores inerciales en diferentes puntos anatómicos con una frecuencia de muestreo de 240 Hz.

Análisis estadístico

El análisis correlacional fue realizado por la r de Pearson. El nivel de significancia se fijó en $p < 0.05$. El rendimiento de la fuerza para la correlación se expresó mediante puntos de Wilks, una forma válida de normalizar el rendimiento de la fuerza teniendo en cuenta la masa corporal [41]. La altura/longitud del salto y el índice de fuerza reactiva fueron medidas a partir del rendimiento utilizado para los ejercicios pliométricos. Se utilizó un ANOVA unidireccional con medidas repetidas para comparar la activación muscular en las diferentes pruebas de fuerza y pliométricas con el paso del COD y el primer paso posterior del pie dominante (paso de aceleración). Cuando ocurrieron diferencias significativas, se realizó la prueba *post hoc* de Holm-Bonferroni. Las infracciones del supuesto de esfericidad se ajustaron mediante la corrección de Greenhouse-Geisser.

Resultados

Los diferentes rendimientos de fuerza y pliométricos junto con los tiempos del COD se muestran en la Tabla 1. Ninguna de las pruebas de fuerza se correlacionó significativamente con el rendimiento del COD ($r < -0.41$, $p > 0.08$). El rendimiento del salto en caída sólo se correlacionó significativamente con el COD de 20 m 45° COD ($r = -0.52$, $p = 0.01$), mientras que el salto con contramovimiento se correlacionó significativamente con los 4 m 180° COD ($r = -0.61$, $p = < 0.01$) y los 20 m 45° COD ($r = -0.49$, $p = 0.02$). Se encontró que el rendimiento del salto 'skater' se correlacionó significativamente con el rendimiento en todos los COD ($r > -0.49$, $p < 0.02$) (Tabla 2).

Tabla 1. Rendimiento principal (\pm SD) en los diferentes ejercicios de fuerza, pliométricos y CODs.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.t001>

Exercise	Performance
Strength tests	
Bilateral squat (Wilks points)	87.3 \pm 10.3
Unilateral squat (Wilks points)	72.7 \pm 9.1
Lateral squat (Wilks points)	71.5 \pm 9.7
Plyometric tests	
Drop jump (RSI)	1.4 \pm 0.3
Unilateral countermovement jump (m)	0.184 \pm 0.032
Skate jump (m)	2.01 \pm 0.19
Change of direction	
4m 45° (s)	1.68 \pm 0.15
4m 180° (s)	2.43 \pm 0.12
20m 45° (s)	4.01 \pm 0.20
20m 180° (s)	4.88 \pm 0.24

RSI = reactive strength index.

Tabla 2. Correlación entre los diferentes ejercicios de fuerza y pliométricos con los diferentes cambios de dirección.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.t002>

	4m 45°	4m 180°	20m 45°	20m 180°
Bilateral squat	.083	.012	-.008	-.117
Unilateral squat	-.186	-.138	-.097	-.165
Lateral squat	-.410	-.238	-.276	-.233
Drop jump	-.235	-.344	-.542*	-.356
Unilateral CMJ	-.402	-.608*	-.492*	-.080
Skate jump	-.491*	-.564*	-.767*	-.602*

CMJ = countermovement jump

*Indicates a significant correlation at the $p < 0.05$ level.

Dado que no se encontraron diferencias significativas en la actividad EMG entre el COD y el paso de aceleración para ninguno de los músculos, se utilizó la actividad muscular máxima de estos pasos y se comparó con los diferentes ejercicios. Sólo se encontró una diferencia significativa en la actividad de los músculos sóleo y aductor largo entre los diferentes CODs. La comparación post hoc reveló que el COD de 4 m con giro de 180° tenía una actividad más baja que todos los demás CODs y que el COD de 20 m con un giro de 45° tenía una mayor actividad del aductor largo que el COD de 20 m con giro de 180°. La actividad del músculo sóleo con el COD de 4 m con giro de 180° fue menor que con un acercamiento de 20 m (Fig 4).

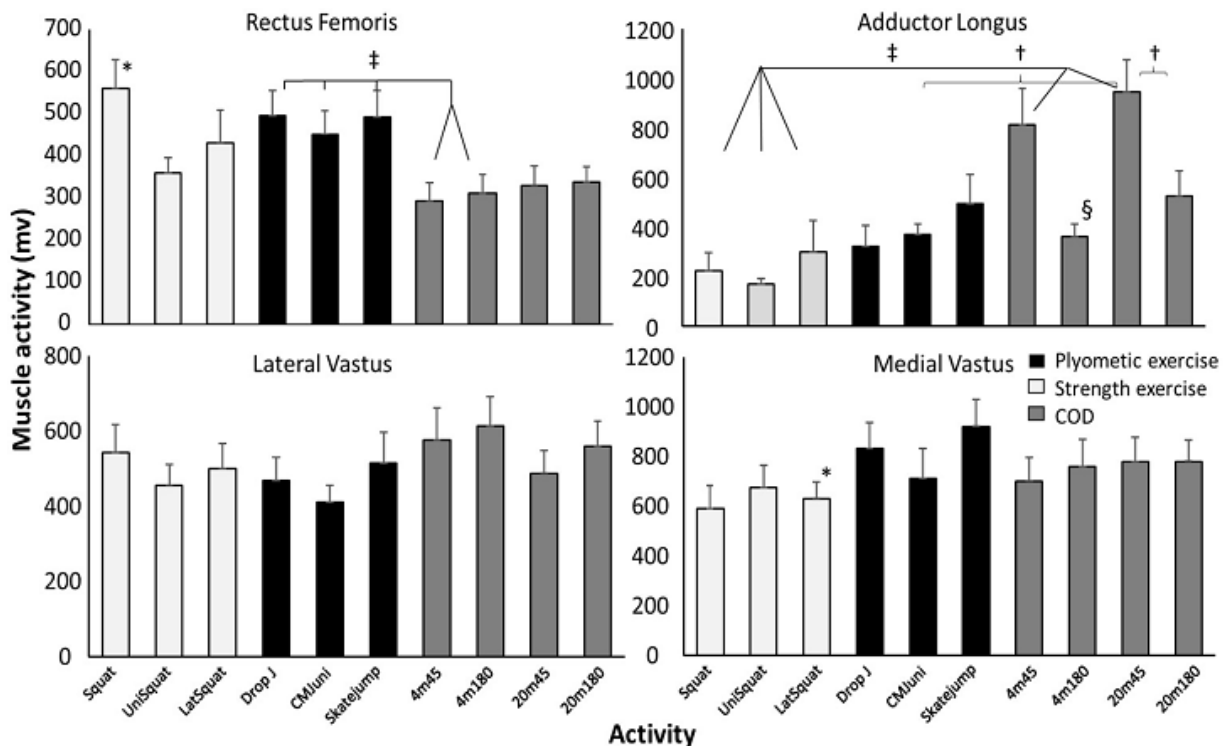


Figura 4. Actividad pico (SEM) del cuádriceps y del aductor largo durante el cambio de dirección (COD) con un giro de 45° o 180° desde una aproximación de 4 y 20 m en comparación con diferentes ejercicios de pliometría (CMJ unilateral, salto en caída y salto 'skater') y ejercicios de fuerza (sentadilla, sentadilla lateral y sentadilla unilateral), promediados sobre todos los sujetos.

* indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) con todos los CODs. † indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre estas dos variables. ‡ indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre esos CODs con esos ejercicios pliométricos/de fuerza. § indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) con todos los demás CODs.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.g004>

En el ejercicio de sentadilla bilateral, se encontró menos actividad en la mayoría de los músculos en comparación con los diferentes CODs, a excepción del recto femoral y del glúteo mayor, que tuvieron una mayor activación en el ejercicio de sentadilla (Figs. 4 y 5). Además, la actividad del recto femoral en los ejercicios pliométricos fue mayor que en los CODs con una aproximación de 4 m (Fig. 4). La sentadilla unilateral también mostró una actividad significativamente menor en los isquiotibiales (Figura 6), el aductor largo (Figura 4) y el gastrocnemio (Figura 5) en comparación con la mayoría de los CODs, mientras que la actividad del glúteo mayor en este ejercicio de fuerza mostró una mayor actividad con el COD de 180° con de 4 m de aproximación (Fig 5). Además, en el ejercicio de sentadilla lateral, el glúteo medio inferior, los músculos isquiotibiales y la activación del vasto medial se compararon con los CODs (figs. 4-6). De los ejercicios pliométricos, en el salto 'skater', se encontró actividad de gastrocnemio inferior y semitendinoso en comparación con algunos CODs (Figs. 5 y 6). Además, en el salto con contramovimiento unilateral (CMJ) para el aductor largo se mostró una menor actividad en comparación con el giro de 45° con 20 m de acercamiento al COD (Fig 4).

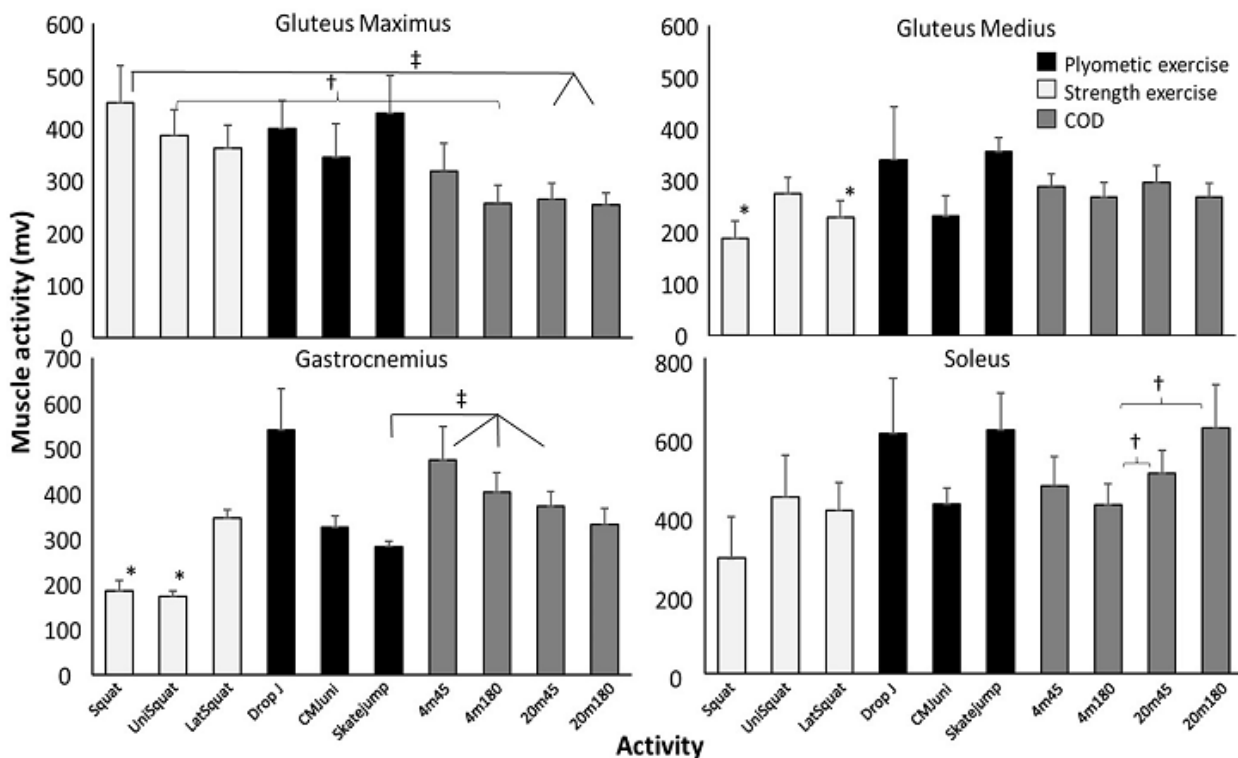


Figura 5. Actividad pico (SEM) del tríceps sural y de los glúteos durante el cambio de dirección (COD) con un giro de 45° o 180° desde una aproximación de 4 y 20 m, en comparación con diferentes ejercicios pliometricos (CMJ unilateral, salto en caída y salto 'skater') y de fuerza (sentadilla, sentadilla lateral y sentadilla unilateral) promediados sobre todos los sujetos.

* indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) con todos los CODs. † indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre esas dos variables. § indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre esos CODs con esos ejercicios pliometricos/de fuerza.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.g005>

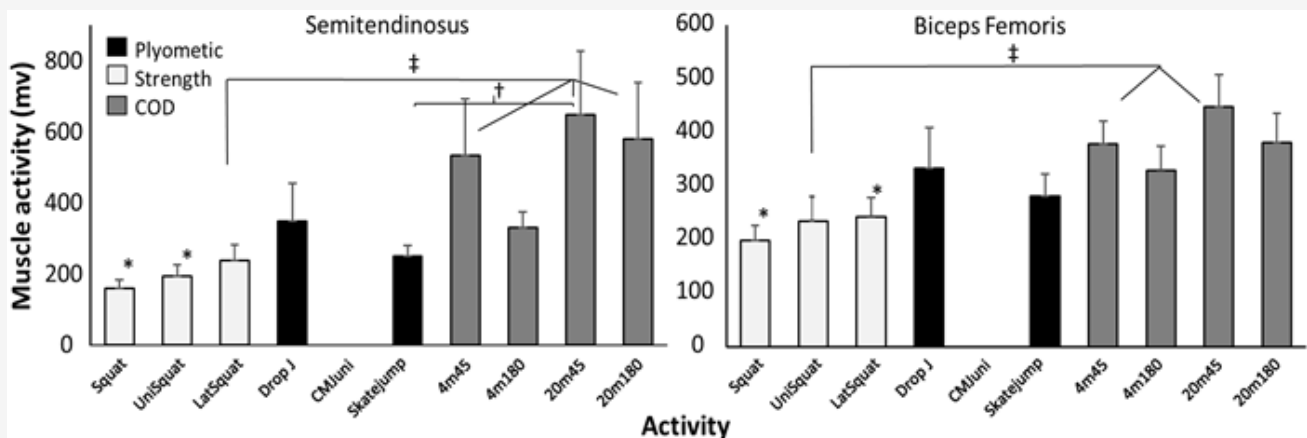


Figura 6. Actividad pico (SEM) de los isquiotibiales durante el cambio de dirección (COD) con un giro de 45° o 180° desde una aproximación de 4 y 20 m en comparación con diferentes ejercicios pliometricos (CMJ unilateral, salto en caída y salto 'skater') y de fuerza (sentadilla, lateral sentadilla y sentadilla unilateral) promediados sobre todos los sujetos.

* indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) con todos los CODs. † indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre esas dos variables. § indica una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre esos CODs con esos ejercicios pliometricos/de fuerza.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.g006>

Discusión

El objetivo principal del estudio fue investigar la asociación de medidas de rendimiento en tests de fuerza y tests pliométricos con CODs dominantes en fuerza y en velocidad. Un objetivo secundario fue comparar la actividad muscular de los diferentes ejercicios con los CODs. Ninguno de los ejercicios de fuerza se correlacionó con el rendimiento del COD. La activación muscular máxima de los ejercicios de fuerza fue significativamente diferente en comparación con los CODs, para varios músculos, mientras que sólo se observó una actividad muscular diferente en el recto femoral y el gastrocnemio de los ejercicios pliométricos. Además, los rendimientos del ejercicio pliométrico revelaron correlaciones significativas con los CODs (Tabla 2).

Correlaciones

Se esperaban altas correlaciones entre el rendimiento pliométrico y el COD de acuerdo con investigaciones anteriores [42-45]. Sin embargo, la baja correlación entre la fuerza y el rendimiento de COD fue algo sorprendente, ya que las cualidades de fuerza son factores que influyen en el rendimiento del COD [15,43], aunque la fuerza también es específica del contexto. Como la dirección de las fuerzas producidas en los ejercicios debe imitar los CODs [34], los movimientos en los tests pliométricos y en los tests de fuerza se emparejaron en ejercicios verticales bilaterales, verticales unilaterales y unilaterales laterales para inducir una dirección similar de las fuerzas producidas y el rango de movimiento de los músculos.

Según lo especificado por ejercicio, el salto 'skater' se correlacionó mejor con todos los CODs, lo cual es explicable ya que es el único ejercicio realizado lateralmente y las producciones de potencia horizontales son importantes para acelerar y desacelerar en los CODs [33,39]. Como los movimientos de CODs ocurren unilateralmente en la dirección vertical/horizontal, requieren en su mayoría una producción de fuerza mediolateral [10]. Por lo tanto, el salto con contramovimiento unilateral también se correlacionó con la mayoría de los CODs, pero menos debido a la aplicación más vertical del salto. Posiblemente esa sea también la razón por la que no se relacionó con el COD de 20 m a 180°, porque este COD requiere una mayor cantidad de fuerza de frenado y propulsión [36,46] producida tanto en la dirección anteroposterior como en la mediolateral [10]. El rendimiento del salto en caída sólo se correlacionó significativamente con el rendimiento de COD de 20 m a 45°, lo que podría deberse a que este rendimiento de COD está muy influenciado por el sprint en línea recta antes del paso del COD [46-48]. Esto se debe a que el índice de fuerza reactiva viene dictado por el tiempo de contacto, que también está asociado con el rendimiento del sprint [49]. El tiempo para ejercer una gran cantidad de fuerza en movimientos dinámicos tan rápidos es limitado. Por lo tanto, la cantidad relativa de fuerza producida en el sprint antes del paso de un COD en el COD de 20 m a 45° es dirigido más verticalmente debido a una mayor velocidad [50-52].

Ninguna de los tests de fuerza indujo una correlación significativa con el rendimiento del COD y esto quizás esté relacionado con la especificidad de la velocidad de contracción, que se sugiere que sea específica tanto para la fuerza como para el sprint [53,54]. Probablemente las contracciones sean demasiado lentas para tener una transferencia directa a los diferentes CODs. Además, el pre-estiramiento de los músculos que puede mejorar la contracción concéntrica debido a la potenciación neural permite el reclutamiento de un mayor número de unidades motoras [55], con mayor efecto a velocidades crecientes [56,57]. El pre-estiramiento más rápido en los ejercicios de COD y en los pliométricos, alcanzando así un mayor nivel de puentes cruzados, puede explicar la mayor activación muscular observada. Sin embargo, no se debe descuidar una explicación de las acciones específicas de los músculos en diferentes condiciones.

Activación muscular

En primer lugar, ambos músculos isquiotibiales revelaron una menor activación muscular en los ejercicios de fuerza en comparación con los CODs (Fig. 4). La fuerza de los flexores de la rodilla se sabe que ayudan a mantener la estabilidad del tronco al desacelerar en un COD [42] y producir fuerza horizontal [58], que son aspectos importantes para promover un rendimiento general del COD [10,59,60]. Como tal, a pesar del énfasis relativamente grande en el glúteo mayor y los flexores de la rodilla en las diferentes variaciones de sentadillas, los isquiotibiales aparentemente se descuidan. En comparación, el salto en caída podría inducir un requerimiento excéntrico similar de los músculos isquiotibiales en comparación con el COD, ya que los isquiotibiales desaceleran los momentos de la articulación de la rodilla en el COD [61-63] antes de la fuerza de propulsión concéntrica [10]. El salto 'skater' también reveló una activación muscular similar de los isquiotibiales, que podría deberse a un movimiento más rápido que aumenta la carga excéntrica, utilizando un ciclo de estiramiento-acortamiento más rápido, en comparación con los levantamientos máximos donde la velocidad es baja.

En segundo lugar, se descubrió que los ejercicios de fuerza inducen la activación de los músculos inferiores del aductor largo y el glúteo medio. La activación muscular sólo fue similar para el glúteo medio al realizar la sentadilla unilateral, en comparación con los CODs. Esto podría deberse a que la sentadilla unilateral se realiza en un pie, sin el otro pie estabilizador, lo que requiere más estabilización de la cadera. Las diferencias en los músculos aductores largos sólo se

encontraron para los CODs de fuerza dominante. En los CODs de fuerza dominante, los participantes realizan un cambio total en el impulso [64] y comienzan a girar antes del paso del COD [65], donde el aductor funciona como estabilizador de la cadera [66,67].

En tercer lugar, se encontró que la activación muscular en el gastrocnemio era menor en los ejercicios de fuerza en comparación con los CODs, excepto en la sentadilla lateral. Esto se debe a que la sentadilla lateral es el único ejercicio de fuerza que requiere flexión plantar del tobillo. Por otro lado, todos los ejercicios pliométricos requieren flexión plantar del tobillo, lo que explica la activación muscular similar a la de los CODs, ya que el tobillo hace una flexión plantar para el momento de desaceleración en el paso del COD [64,67] al absorber el impacto de las fuerzas [59].

En base a las asociaciones positivas observadas entre los ejercicios pliométricos y especialmente el salto 'skater' con los CODs y la activación muscular máxima observada, parece que los ejercicios pliométricos deberían recomendarse para desarrollar los CODs dominantes tanto en fuerza como en velocidad, mientras que los ejercicios de fuerza evaluados no deberían recomendarse en base a los presentes hallazgos. Sin embargo, el presente estudio no investigó si la implementación de estos ejercicios durante un período de tiempo ayuda al desempeño del COD. Estudios de entrenamiento anteriores han demostrado que la implementación de algunos de estos ejercicios pliométricos en el entrenamiento aumentaba el rendimiento del COD [34]. El salto 'skater' tuvo las asociaciones más altas con los diferentes CODs, mientras que sólo los ejercicios similares realizados lateralmente se complementan en intervenciones de entrenamiento anteriores [16,68,69], sería interesante investigar el efecto aislado de este ejercicio en futuros estudios de entrenamiento y cómo afecta el rendimiento del COD. Además, los ejercicios pliométricos mostraron una mayor similitud en la activación muscular en los músculos isquiotibiales, aductor largo, gastrocnemio, glúteo medio y una mayor asociación con el rendimiento del COD en comparación con los ejercicios de fuerza. Es posible que los ejercicios de fuerza no mostraran el mismo nivel de asociación debido a la falta de activación en estos músculos. Como tal, es posible que seleccionar diferentes ejercicios de fuerza o modificar los ejercicios de fuerza actuales con el objetivo de estimular la activación muscular más como el COD, pueda mejorar mayormente el rendimiento del COD.

Limitaciones

Aunque los ejercicios pliométricos son aparentemente más específicos para los CODs dominantes tanto en fuerza como en velocidad, se deben abordar algunas limitaciones. En primer lugar, los ejercicios de fuerza se midieron con carga externa máxima levantada, posiblemente inhibiendo la especificidad hacia los CODs. Una carga más ligera con la intención de maximizar la producción de potencia podría revelar una mayor correlación en las medidas de rendimiento [19]. En segundo lugar, la cantidad de jugadores probados y la amplia variedad de niveles de jugadores (segundo a sexto nivel nacional) podrían ser una limitación para generalizar los hallazgos. Pero la variación en las realizaciones de los tests entre los jugadores fue baja y, por lo tanto, son comparables para jugadores de diferentes niveles. Sin embargo, se deben realizar más estudios con jugadores del mismo nivel de juego para investigar si las asociaciones entre los CODs con los tests de fuerza y test pliométricos son comparables con las encontradas en el presente estudio. En tercer lugar, las mediciones de EMG siempre están en riesgo de interferencia entre los músculos, especialmente con movimientos dinámicos rápidos como los pliométricos y los CODs. Las investigaciones futuras deben realizarse con una placa de fuerza en el paso del COD y para las diferentes pruebas de fuerza y tests pliométricos, para investigar las fuerzas producidas. Estas mediciones de fuerza podrían proporcionar una mayor comprensión de la especificidad de los ejercicios de fuerza y pliométricos hacia los CODs, especialmente los ejercicios realizados lateralmente.

Conclusión

Las pruebas pliométricas revelaron varias asociaciones con las medidas de rendimiento en los CODs dominantes tanto en fuerza como en velocidad, mientras que las pruebas de fuerza no proporcionaron tal asociación, debido a la velocidad de contracción lenta de los levantamientos máximos. Debido a las diferencias observadas en la activación muscular, los ejercicios pliométricos están indicados para compartir más similitudes físicas con los CODs dominantes tanto en fuerza como en velocidad, en comparación con los ejercicios de fuerza en esta cohorte. Por lo tanto, como aplicación práctica, se sugiere, al complementar el entrenamiento específico del COD con entrenamiento adicional, utilizar los ejercicios pliométricos estudiados en lugar de los ejercicios de fuerza basados en un uso muscular similar y asociaciones con CODs de velocidad y de fuerza dominantes.

Información de apoyo

S1 Datos.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580.s001>

REFERENCIAS

1. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. (2005). Physiology of soccer. *Sports Med.* 2005;35(6). :501-36. [pmid:15974635](#)
2. Carling C, Reilly T, Williams AM. (2008). Performance Assessment for Field Sports. London: Routledge; 2008.
3. Hoffman JR, Tenenbaum G, Maresh CM, Kraemer WJ. (1996). Relationship between athletic performance tests and playing time in elite college basketball players. *J Strength Cond Res.* 1996;10(2). :67-71.
4. Bloomfield J, Polman P, O'Donoghue P. (2007). O-007 Deceleration movements performed during FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci Med.* 2007;10.
5. Castagna C, D'Ottavio S, Abt G. (2003). Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res.* 2003;17(4). :775-80. [pmid:14636107](#)
6. Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, Hoff J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(11). :1925-31. [pmid:11689745](#)
7. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci.* 2000;18(9). :669-83. [pmid:11043893](#)
8. Faude O, Koch T, Meyer T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci.* 2012;30(7). :625-31. [pmid:22394328](#)
9. Young WB, Dawson B, Henry GJ. (2015). Agility and change-of-direction speed are independent skills: implications for training for agility in invasion sports. *Int J Sports Sci Coach.* 2015;10(1). :159-69.
10. Brughelli M, Cronin J, Levin G, Chaouachi A. (2008). Understanding change of direction ability in sport. *Sports Med.* 2008;38(12). :1045-63. [pmid:19026020](#)
11. Castillo-Rodríguez A, Fernández-García JC, Chinchilla-Minguet JL, Carnero EÁ. (2012). Relationship between muscular strength and sprints with changes of direction. *J Strength Cond Res.* 2012;26(3). :725-32. [pmid:22289697](#)
12. Baker DG, Newton RU. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J Strength Cond Res.* 2008;22(1). :153-8. [pmid:18296969](#)
13. Gabbett T, Kelly J, Ralph S, Driscoll D. (2009). Physiological and anthropometric characteristics of junior elite and sub-elite rugby league players, with special reference to starters and non-starters. *J Sci Med Sport.* 2009;12(1). :215-22. [pmid:18055259](#)
14. DeWeese B, Nimphius S. (2016). Program design technique for speed and agility training. In: Haff G, Travis Triplett N, editors. *Essentials of Strength Training and Conditioning. 4: National Strength and Conditioning Association; 2016.* p. 521-58.
15. Young W B., James R, Montgomery I. (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction? *J Sports Med Phys Fitn.* 2002;42(3). :282-8.
16. Keller S, Koob A, Corak D, von Schöning V, Born D-P. (2020). How to improve change-of-direction speed in junior team sport athletes—horizontal, vertical, maximal, or explosive strength training? *J Strength Cond Res.* 2020;34(2). :473-82. [pmid:30199451](#)
17. Chatzinikolaou A, Michaloglou K, Avloniti A, Leontsini D, Deli CK, Vlachopoulos D, et al. (2018). The trainability of adolescent soccer players to brief periodized complex training. *Int J Sports Physiol Perf.* 2018;13(5). :645-55. [pmid:29431546](#)
18. de Hoyos M, Gonzalo-Skok O, Sañudo B, Carrascal C, Plaza-Armas JR, Camacho-Candil F, et al. (2016). Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive performance in U-19 elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2). :368-77. [pmid:26813630](#)
19. Torres-Torrel J, Rodríguez-Rosell D, González-Badillo JJ. (2017). Light-load maximal lifting velocity full squat training program improves important physical and skill characteristics in futsal players. *J Sports Sci.* 2017;35(10). :967-75. [pmid:27414074](#)
20. Alves JMVM, Rebelo AN, Abrantes C, Sampaio J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *J Strength Cond Res.* 2010;24(4). :936-41. [pmid:20300035](#)
21. Speirs DE, Bennett MA, Finn CV, Turner AP. (2016). Unilateral vs. bilateral squat training for strength, sprints, and agility in academy rugby players. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2). :386-92. [pmid:26200193](#)
22. Tous-Fajardo J, Gonzalo-Skok O, Arjol-Serrano JL, Tesch P. (2016). Enhancing change-of-direction speed in soccer players by functional inertial eccentric overload and vibration training. *Int J Sports Physiol Perf.* 2016;11(1). :66-73. [pmid:25942419](#)
23. Ramírez-Campillo R, Meylan C, Álvarez C, Henríquez-Olguín C, Martínez C, Cañas-Jamett R, et al. (2014). Effects of in-season low-volume high-intensity plyometric training on explosive actions and endurance of young soccer players. *J Strength Cond Res.* 2014;28(5). :1335-42. [pmid:24751658](#)
24. Ramírez-Campillo R, Burgos CH, Henríquez-Olguín C, Andrade DC, Martínez C, Álvarez C, et al. (2015). Effect of unilateral, bilateral, and combined plyometric training on explosive and endurance performance of young soccer players. *J Strength Cond Res.* 2015;29(5). :1317-28. [pmid:25474338](#)
25. Thomas GA, Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS. (2007). Maximal power at different percentages of one repetition maximum: Influence of resistance and gender. *J Strength Cond Res.* 2007;21(2). :336. [pmid:17530990](#)
26. Asadi A, Ramírez-Campillo R. (2016). Effects of cluster vs. traditional plyometric training sets on maximal-intensity exercise performance. *Medic.* 2016;52(1). :41-5. [pmid:26987499](#)
27. Hammami M, Negra Y, Aouadi R, Shephard RJ, Chelly MS. (2016). Effects of an in-season plyometric training program on repeated change of direction and sprint performance in the junior soccer player. *J Strength Cond Res.* 2016;30(12). :3312-20. [pmid:27135476](#)
28. Ramírez-Campillo R, Gallardo F, Henríquez-Olguín C, Meylan CM, Martínez C, Álvarez C, et al. (2015). Effect of vertical, horizontal, and combined plyometric training on explosive, balance, and endurance performance of young soccer players. *J Strength Cond Res.* 2015;29(7). :1784-95. [pmid:25559903](#)
29. Ramirez-Campillo R, Alvarez C, Gentil P, Loturco I, Sanchez-Sanchez J, Izquierdo M, et al. (2018). Sequencing effects of plyometric

- training applied before or after regular soccer training on measures of physical fitness in young players. *J Strength Cond Res.* 2018;(published ahead of print). *pmid:29570574*
30. Thomas K, French D, Hayes PR. (2009). The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1). :332-5. *pmid:19002073*
 31. Chtara M, Rouissi M, Haddad M, Chtara H, Chaalali A, Owen A, et al. (2017). Specific physical trainability in elite young soccer players: efficiency over 6 weeks' in-season training. *Biol Sport.* 2017;34(2). :137. *pmid:28566807*
 32. van den Tillaar R, Waade L, Roaas T. (2015). Comparison of the effects of 6 weeks of squat training with a plyometric training programme upon different physical performance tests in adolescent team handball players. *Acta Kinesiol Univers Tartu.* 2015; 21:75-88.
 33. McCormick BT, Hannon JC, Newton M, Shultz B, Detling N, Young WB. (2016). The effects of frontal-and sagittal-plane plyometrics on change-of-direction speed and power in adolescent female basketball players. *Int J Sports Physiol Perf.* 2016;11(1). :102-7. *pmid:26023808*
 34. Falch HN, Rædergård HG, van den Tillaar R. (2019). Effect of different physical training forms on change of direction ability: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med-Open.* 2019;5(1). :53. *pmid:31858292*
 35. Chaouachi A, Manzi V, Chaalali A, Wong dP, Chamari K, Castagna C. (2012). Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2012;26(10). :2667-76. *pmid:22124358*
 36. Bourgeois F, McGuigan M, Gill N, Gamble G. (2017). Physical characteristics and performance in change of direction tasks: a brief review and training considerations. *J Aust Strength Cond.* 2017; 25:104-17.
 37. Young W B., McDowell M, Scarlet B. (2001). Specificity of sprint and agility training methods. *J Strength Cond Res.* 2001;15(3). :315-9. *pmid:11710657*
 38. Harriss D, Atkinson G. (2015). Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2016 Update. *Int J Sports Med.* 2015; 36:1121-4. *pmid:26671845*
 39. Sato K, Liebenson C. (2013). The lateral squat. *J Bodyw Mov Ther.* 2013;17(4). :560-2. *pmid:24139018*
 40. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(5). :361-74. *pmid:11018445*
 41. VandenBurgh PM, Batterham AM. (1999). Validation of the Wilks powerlifting formula. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(12). :1869. *pmid:10613442*
 42. Jones P, Bampouras T, Marrin K. (2009). An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *J Sports Med Phys Fitn.* 2009;49(1). :97-104.
 43. Spiteri T, Nimphius S, Hart NH, Specos C, Sheppard JM, Newton RU. (2014). Contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res.* 2014;28(9). :2415-23. *pmid:24875426*
 44. 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.* 2007;21(4). :1192. *pmid:18076276*
 45. Hori N, Newton RU, Andrews WA, Kawamori N, McGuigan MR, Nosaka K. (2008). Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *J Strength Cond Res.* 2008;22(2). :412-8. *pmid:18550955*
 46. Nimphius S, Callaghan SJ, Bezodis NE, Lockie RG. (2018). Change of direction and agility tests: challenging our current measures of performance. *Strength Cond J.* 2018;40(1). :26-38.
 47. Nimphius S, Geib G, Spiteri T, Carlisle D. (2013). Change of direction" deficit measurement in Division I American football players. *J Aust Strength Cond.* 2013;21(S2). :115-7.
 48. Nimphius S, Callaghan SJ, Spiteri T, Lockie RG. (2016). Change of direction deficit: a more isolated measure of change of direction performance than total 505 time. *J Strength Cond Res.* 2016;30(11). :3024-32. *pmid:26982972*
 49. Morin J-B, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour J-R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(11). :3921-30. *pmid:22422028*
 50. Arampatzis A, Brüggemann G-P, Metzler V. (1999). The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *J Biomech.* 1999;32(12). :1349-53. *pmid:10569714*
 51. Keller TS, Weisberger A, Ray J, Hasan S, Shiavi R, Spengler D. (1996). Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clin Biomech.* 1996;11(5). :253-9.
 52. Kyröläinen H, Belli A, Komi PV. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(8). :1330-7. *pmid:11474335*
 53. Behm D, Sale D. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Med.* 1993;15(6). :374-88. *pmid:8341872*
 54. Kristensen GO, Van den Tillaar R, Ettema GJ. (2006). Velocity specificity in early-phase sprint training. *J Strength Cond Res.* 2006;20(4). :833. *pmid:17194234*
 55. van Ingen Schenau GJ, Bobbert MF, de Haan A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *J Appl Biomech.* 1997;13(4). :389-415.
 56. Bobbert MF, Huijijng PA. Drop jumping. I. (1987). The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19(4). :332-8. *pmid:3657481*
 57. Flanagan EP, Comyns TM. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength Cond J.* 2008;30(5). :32-8.
 58. Morin J-B, Gimenez P, Edouard P, Arnal P, Jiménez-Reyes P, Samozino P, et al. (2015). Sprint acceleration mechanics: the major role of hamstrings in horizontal force production. *Front Physiol.* 2015; 6:404. *pmid:26733889*
 59. Hewitt J, Cronin J, Button C, Hume P. (2011). Understanding deceleration in sport. *Strength Cond J.* 2011;33(1). :47-52.
 60. Jones P, Thomas C, Dos'Santos T, McMahon J, Graham-Smith P. (2017). The role of eccentric strength in 180 turns in female soccer players. *Sports.* 2017;5(2). :42. *pmid:29910402*
 61. Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR. (2003). Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Med Sci*

- Sports Exerc.* 2003;35(1). :119-27. *pmid:12544645*
62. McLean SG, Huang X, Su A, Van Den Bogert AJ. (2004). Sagittal plane biomechanics cannot injure the ACL during sidestep cutting. *Clin Biomech.* 2004;19(8). :828-38. *pmid:15342155*
63. McLean SG, Huang X, van den Bogert AJ. (2005). Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: implications for ACL injury. *Clin Biomech.* 2005;20(8). :863-70. *pmid:16005555*
64. Andrews JR, McLeod WD, Ward T, Howard K. (1977). The cutting mechanism. *American journal of sports medicine.* 1977;5(3). :111-21. *pmid:860773*
65. Marshall BM, Franklyn-Miller AD, King EA, Moran KA, Strike SC, Falvey ÉC. (2014). Biomechanical factors associated with time to complete a change of direction cutting maneuver. *J Strength Cond Res.* 2014;28(10). :2845-51. *pmid:24662232*
66. Bencke J, Curtis D, Krogshede C, Jensen LK, Bandholm T, Zebis MK. (2013). Biomechanical evaluation of the side-cutting manoeuvre associated with ACL injury in young female handball players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(8). :1876-81. *pmid:22968624*
67. Neptune RR, Wright IC, Van Den Bogert AJ. (1999). Muscle coordination and function during cutting movements. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(2). :294-302. *pmid:10063820*
68. Faigenbaum AD, McFarland JE, Keiper FB, Tevlin W, Ratamess NA, Kang J, et al. (2007). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J Sports Sci Med.* 2007;6(4). :519-25. *Epub 2007/01/01. pmid:24149486*
69. Söhnlein Q, Müller E, Stöggl TL. (2014). The effect of 16-week plyometric training on explosive actions in early to mid-puberty elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2014;28(8). :2105-14. *Epub 2014/01/31. pmid:24476783.*

Cita Original

Falch HN, Rædergård HG, van den Tillaar R (2020) Association of strength and plyometric exercises with change of direction performances. *PLoS ONE* 15(9): e0238580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238580>