



**Influencia de la direccionalidad de movimiento  
en el entrenamiento de fuerza sobre el  
rendimiento físico en jóvenes jugadores de  
baloncesto**

**Jorge Sánchez Sabaté**

Tesis Doctoral

Programa de Doctorado de Ciencias de la Salud

Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad San Jorge

Villanueva de Gállego, 2023





# **Influencia de la direccionalidad de movimiento en el entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico en jóvenes jugadores de baloncesto**

**Jorge Sánchez Sabaté**

Tesis Doctoral

Programa de Doctorado de Ciencias de la Salud

Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad San Jorge

Villanueva de Gállego, 2023

Director

**Dr. Oliver Gonzalo Skok**

Director

**Dr. Eduardo Piedrafita Trigo**



**Dr. Oliver Gonzalo Skok**, profesor del Departamento de Comunicación y Educación de la Universidad Loyola.

**Dr. Eduardo Piedrafita Trigo**, profesor de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad San Jorge; investigador del grupo ValorA.

**Certifican:**

Que el trabajo de investigación recogido en la presente tesis titulada: "Influencia de la direccionalidad de movimiento en el entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico en jóvenes jugadores de baloncesto", presentada en la Universidad San Jorge, ha sido realizado bajo su dirección por D. Jorge Sánchez Sabaté, y autorizan su presentación para optar al título de Doctor.

Para que así conste, firman el presente certificado en Villanueva de Gállego (Zaragoza), a 17 de Noviembre de 2023.



Fdo.: Oliver Gonzalo Skok



Fdo.: Eduardo Piedrafita Trigo



## AGRADECIMIENTOS

A mi compañera de vida, de viaje y de alma, por entender todas las horas que este trabajo nos ha robado y, aun así, siempre estar para apoyarme...

A mis padres, a mi hermana, a mis abuelos, a mis tíos y mis tías, a la infinidad de primos que tengo y a toda la familia que ha llegado a través vuestro, somos muchos y buenos, y eso es algo de lo que siempre estaré agradecido...

A todos los amigos que me han acompañado a lo largo de la vida. Algunos se han ido, otros han llegado y otros siempre han estado. Todos habéis formado parte de mí, y nunca lo voy a olvidar...

A mis directores de tesis, por la cantidad de horas que habéis invertido en mi formación, tanto personal como académica. Nunca podré devolveros todo lo que habéis hecho por mí, y por eso, siempre estaré para vosotros...

A mis amigos de la USJ: antiguos alumnos, profesores de CCAFD, colegas de profesión, "4D", "Jumanji", "Despachito", TODOS. La USJ cambió mi vida, siempre voy a tener su ADN, y siempre me sentiré orgulloso de ello...

Y por último, a los locos, a los que no encajan, a los rebeldes, a los buscadores de problemas, a los 4 ojos, a los que ven las cosas de manera diferente, a los que no siguen las reglas, a los que no respetan el "status quo"...

Todos y cada uno de vosotros formáis parte de mí y yo de vosotros, y por ello,

**GRACIAS**





# ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS .....  | 11 |
| GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....   | 13 |
| RESUMEN.....  | 15 |
| ABSTRACT.....   | 17 |
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 21 |
| 1.1. Descripción de la modalidad deportiva .....                          | 21 |
| 1.1.1. Demandas metabólicas .....   | 21 |
| 1.1.2. Demandas mecánicas .....   | 22 |
| 1.2. Manifestaciones de la fuerza .....                                   | 23 |
| 1.2.1. Fuerza isométrica máxima.....                                      | 23 |
| 1.2.2. Fuerza dinámica máxima.....  | 26 |
| 1.2.3. Fuerza explosiva (tasa de desarrollo de la fuerza) .....           | 28 |
| 1.2.4. Fuerza excéntrica .....  | 30 |
| 1.3. Métodos de entrenamiento de fuerza.....                              | 33 |
| 1.3.1. Entrenamiento tradicional.....                                     | 34 |
| 1.3.2. Entrenamiento balístico.....                                       | 37 |
| 1.3.3. Entrenamiento combinado.....                                       | 39 |
| 1.3.4. Entrenamiento con sobrecarga excéntrica.....                       | 41 |
| 1.4. La direccionalidad de aplicación de fuerza en el entrenamiento ..... | 43 |
| 1.4.1. Concepto y relevancia en el entrenamiento de fuerza. ....          | 43 |
| 1.4.2. Efectos sobre el rendimiento físico. ....                          | 44 |
| 1.4.3. Efectos sobre el rendimiento en el baloncesto.....                 | 46 |
| Referencias .....   | 47 |
| 2. JUSTIFICACIÓN.....   | 61 |
| 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....  | 65 |
| 3.1.1. Hipótesis principal.....   | 65 |
| 3.1.2. Objetivo general .....   | 65 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 3.1.3. Objetivos específicos..... | 65  |
| 4. RELACIÓN DE ARTÍCULOS.....     | 69  |
| Artículo 1. ....                  | 69  |
| Artículo 2. ....                  | 83  |
| Artículo 3. ....                  | 99  |
| 5. RESUMEN DE RESULTADOS.....     | 111 |
| 6. DISCUSIÓN GENERAL .....        | 115 |
| Referencias .....                 | 127 |
| 7. LIMITACIONES .....             | 133 |
| 8. FUTURAS INVESTIGACIONES .....  | 137 |
| 9. CONCLUSIONES .....             | 141 |
| ANEXOS .....                      | 145 |

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Curva fuerza-tiempo durante una acción muscular isométrica.....   | 25  |
| Figura 2. Adaptaciones fisiológicas del sistema neuromuscular .....   | 27  |
| Figura 3. Ecuación que manifiesta la capacidad que tiene un grupo muscular para desarrollar tensión en la unidad de tiempo .....                | 28  |
| Figura 4. Relación entre la tasa de desarrollo de la fuerza y la intensidad relativa .....  | 30  |
| Figura 5. Ejercicios basados en patrones de movimiento básicos con peso libre. ....   | 34  |
| Figura 6. Movimiento olímpico principal, la arrancada de fuerza .....   | 36  |
| Figura 7. Comparativa de movimientos específicos en diversos planos de movimiento ejecutados en polea cónica con su entorno deportivo real..... | 42  |
| <br>  |     |
| Tabla 1. Resumen de los principales resultados obtenidos en los estudios experimentales .....   | 131 |



## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>1RM</b>               | Repetición máxima   |
| <b>ATP</b>               | Adenosín trifosfato   |
| <b>BV</b>                | Grupo vertical-bilateral ( <i>bilateral-vertical group</i> )                                |
| <b>CEA</b>               | Ciclo estiramiento-acortamiento   |
| <b>CHG</b>               | Grupo combinado horizontal ( <i>combined horizontal group</i> )                             |
| <b>CMJ</b>               | Salto con contramovimiento ( <i>countermovement jump</i> )                                  |
| <b>CMJL</b>              | Salto vertical unilateral izquierdo ( <i>countermovement jump left</i> )                    |
| <b>CMJR</b>              | Salto vertical unilateral derecho ( <i>countermovement jump right</i> )                     |
| <b>CNT</b>               | Entrenamiento combinado de contraste ( <i>contrast training</i> )                           |
| <b>COD</b>               | Cambio de dirección ( <i>change of direction</i> )  |
| <b>CPX</b>               | Entrenamiento combinado complejo ( <i>complex training</i> )                                |
| <b>CVG</b>               | Grupo combinado vertical ( <i>combined vertical group</i> )                                 |
| <b>F</b>                 | Fuerza  |
| <b>FDM</b>               | Fuerza dinámica máxima  |
| <b>FE</b>                | Fuerza explosiva  |
| <b>FE<sub>max</sub></b>  | Fuerza explosiva máxima   |
| <b>F<sub>Exc</sub></b>   | Fuerza excéntrica   |
| <b>FIM</b>               | Fuerza isométrica máxima  |
| <b>HJ</b>                | Salto horizontal ( <i>horizontal jump</i> )   |
| <b>HJL</b>               | Salto horizontal unilateral izquierdo ( <i>horizontal jump left</i> )                       |
| <b>HJR</b>               | Salto horizontal unilateral derecho ( <i>horizontal jump right</i> )                        |
| <b>I</b>                 | Impulso mecánico  |
| <b>kg</b>                | Kilogramo   |
| <b>LJ</b>                | Salto lateral ( <i>lateral jump</i> )   |
| <b>LJL</b>               | Salto lateral unilateral izquierda ( <i>lateral jump left</i> )                             |
| <b>LJR</b>               | Salto lateral unilateral derecha ( <i>lateral jump right</i> )                              |
| <b>ms</b>                | Milisegundo   |
| <b>MVIC</b>              | Contracción isométrica máxima voluntaria ( <i>maximum voluntary isometric contraction</i> ) |
| <b>N</b>                 | Newtons   |
| <b>PAP</b>               | Potenciación post-activación ( <i>post-activation potentiation</i> )                        |
| <b>PC</b>                | Fosfocreatina ( <i>phosphocreatine</i> )  |
| <b>PMF</b>               | Pico máximo de fuerza   |
| <b>RFD</b>               | Producción de fuerza en la unidad de tiempo ( <i>rate of force development</i> )            |
| <b>RFD<sub>ISO</sub></b> | RFD isométrica  |
| <b>RFD<sub>MAX</sub></b> | RFD máxima  |
| <b>s</b>                 | Segundos  |
| <b>SJ</b>                | Salto desde posición de sentadilla ( <i>squat jump</i> )                                    |
| <b>t</b>                 | Tiempo  |
| <b>TE</b>                | Tamaño del efecto   |
| <b>UH</b>                | Grupo horizontal-unilateral ( <i>unilateral-horizontal group</i> )                          |
| <b>UM</b>                | Unidad motora   |
| <b>VUH</b>               | Grupo variable horizontal-unilateral ( <i>variable unilateral-horizontal group</i> )        |
| <b>VUL</b>               | Grupo variable lateral-unilateral ( <i>variable unilateral-lateral group</i> )              |



## RESUMEN

Los programas de entrenamiento de fuerza en los deportistas de equipo han sido extraídos originalmente del estudio de los deportes individuales, donde las cargas eran levantadas de manera bilateral con mayor énfasis en la fase concéntrica del movimiento. Sin embargo, el estudio de las demandas metabólicas y mecánicas de los deportes de equipo, como el baloncesto, ha destacado la importancia de aplicar fuerza ejecutando movimientos multidireccionales variables y unilaterales con un mayor énfasis en la fase excéntrica del gesto deportivo. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación ha sido evaluar el efecto de la direccionalidad de aplicación de fuerza a través de distintos métodos de entrenamiento sobre la capacidad de salto, el *sprint* y el cambio de dirección en jóvenes jugadores de baloncesto.

Los participantes fueron jugadores de baloncesto altamente entrenados comprendidos en las categorías U13-U18. Las pruebas administradas a lo largo del estudio fueron saltos bilaterales y unilaterales verticales, saltos unilaterales horizontales y laterales, velocidad lineal y velocidad del cambio de dirección. Los protocolos de entrenamiento tuvieron una duración entre 6 y 8 semanas, llevando a cabo dos sesiones de entrenamiento de fuerza por semana, añadidas al entrenamiento de baloncesto habitual.

Los resultados obtenidos mostraron como la aplicación de fuerza en varias direcciones produjo efectos distintos sobre las variables funcionales del rendimiento físico en jóvenes jugadores de baloncesto. Además, el método de entrenamiento utilizado durante un programa de entrenamiento de la fuerza parece producir efectos distintos ante una misma direccionalidad de aplicación de fuerza. En base a los hallazgos analizados, se podría afirmar que las variables en las que predomine una direccionalidad de movimiento horizontal o lateral (saltos horizontales, saltos laterales o *sprint* lineal) parecen mejorar en mayor medida si la aplicación de fuerza durante el entrenamiento es específica a dicha variable. Por otro lado, aquellas variables cuya aplicación de fuerza contiene un mayor componente vertical (saltos verticales) o multidireccional (cambios de dirección) no parecen seguir un comportamiento unificado.

La presente investigación subraya la influencia de la especificidad de la direccionalidad de movimiento en el entrenamiento de fuerza, demostrando su relevancia en la mejora de diversas variables de rendimiento en jugadores jóvenes de baloncesto.





## ABSTRACT

Strength training programs for team athletes have originally been derived from the study of individual sports, where loads were lifted bilaterally with an emphasis primarily on the concentric phase of movement. However, the examination of the metabolic and mechanical demands of team sports like basketball has highlighted the importance of applying force through variable multidirectional and unilateral movements, with a heightened emphasis on the eccentric phase of the athletic gesture. Therefore, the main aim of this research was to evaluate the effect of force application directionality through different training methods on jump ability, sprint, and change of direction in basketball players.

The participants in the study were highly trained basketball players within the U13-U18 categories. The tests administered throughout the study included bilateral and unilateral vertical jumps, unilateral horizontal and lateral jumps, linear speed, and change of direction speed. The training protocols lasted between 6 and 8 weeks, involving two strength training sessions per week, in addition to the regular basketball training regimen.

The obtained results demonstrated how different directionalities of force application caused diverse effects on functional performance variables in young basketball players. Additionally, the training method utilized during a strength training program seems to produce different effects towards the same force application directionality. Based on the analysed findings, it could be asserted that variables dominated by a horizontal or lateral movement directionality (horizontal jumps, lateral jumps, or linear sprint) seem to improve more significantly if the force application during training is specific to that variable. On the other hand, those variables where the force application has a higher vertical component (vertical jumps) or multidirectional component (changes in direction) do not appear to follow a unified behaviour.

This research emphasizes the influence of movement directionality specificity in strength training, showcasing its relevance in enhancing various performance variables in young basketball players.



# **INTRODUCCIÓN**



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Descripción de la modalidad deportiva

El baloncesto, originado en el siglo XIX, se ha establecido como uno de los deportes de equipo más populares y practicados a nivel mundial. Se caracteriza por ser una modalidad colectiva de cooperación-oposición con invasión de campo, en el que dos equipos compiten con el objetivo de anotar más puntos en la canasta de su oponente, a la vez que defienden la suya propia (1). La duración de un partido de baloncesto es de 4 cuartos de 10 minutos cada uno de ellos, haciendo una duración total de 40 minutos (2).

### 1.1.1. Demandas metabólicas

Desde un enfoque fisiológico, el baloncesto es una actividad compuesta por acciones intermitentes, las cuales involucran periodos alternos de esfuerzos de alta intensidad y períodos de descanso o de actividad de menor intensidad, por lo que requieren la intervención conjunta de los sistemas aeróbicos y anaeróbicos (3). El sistema aeróbico se caracteriza porque energéticamente predomina el consumo de grasas e hidratos de carbono, se utiliza preferentemente la ruta metabólica oxidativa y las fibras musculares que soportan la fuerza requerida son fundamentalmente las fibras de tipo I y IIa. Por el contrario, el sistema anaeróbico se define por su predominancia en el consumo de hidratos de carbono, fosfocreatina (PC) (sistema de fosfágenos) y adenosín trifosfato (ATP), el uso preferente de la ruta metabólica anaeróbica y la predominancia en la activación de fibras tipo IIa y IIx (4). Los movimientos más determinantes se describen como acciones de alta intensidad que duran menos de 6 segundos (un salto máximo para meter canasta), y ejercicios de intensidad moderada de hasta 60 segundos (carrera intensidad moderada para hacer un balance defensivo tras una acción en ataque) (5). Las respuestas fisiológicas durante este tipo de acciones son mayoritariamente anaeróbicas, ya que la contribución del sistema aeróbico es inferior al 10% de la producción total de energía (6). La capacidad de los jugadores de baloncesto para mantener un buen rendimiento a lo largo del tiempo depende de la reposición de las reservas de PC y de la eliminación de los productos de desecho resultantes de la obtención de energía por medio de vías anaeróbicas. Para que estas funciones sean llevadas a cabo es necesario que la vía aeróbica actúe de manera eficiente (7). Por lo tanto, se puede afirmar que el baloncesto es un deporte de naturaleza mixta, ya que para obtener el máximo rendimiento se deben combinar sendas vías de obtención de energía.

### 1.1.2. Demandas mecánicas

Una herramienta fundamental para entender las demandas mecánicas de un deporte es el análisis del *time-motion* (análisis de movimiento), que estudia la distribución temporal de los diferentes tipos de movimientos y acciones que realizan los jugadores durante un partido. El baloncesto ha mostrado tener una gran variabilidad de cambio entre sus acciones más predominantes, como son el salto, el *sprint* y el cambio de dirección (COD: *change of direction*) (8).

La capacidad de salto es considerada una habilidad motriz esencial en una gran variedad de deportes de equipo (5,9,10). En el caso del baloncesto, la capacidad de elevarse por encima de los oponentes es fundamental para acciones clave como el rebote, la defensa y el tiro (11–13). El salto se ejecuta con un promedio de una vez por cada minuto de juego, obteniendo un rango de 41 a 56 saltos por partido, lo que supone un 1,3% del tiempo total de partido (14).

La capacidad para aplicar fuerza horizontalmente, utilizada principalmente para acelerar y *sprintar*, es crucial en deportes de equipo como el baloncesto, ya que permite a los jugadores alcanzar posiciones ventajosas, superar a los oponentes y realizar acciones defensivas y ofensivas efectivas (15). Según diversas investigaciones, las acciones de alta intensidad (como el *sprint*), representan el 2-15% del tiempo de partido, con un rango de 18-105 *sprint* por partido y una duración media de 1,7 segundos (s), resultando en un *sprint* cada 21-39 s aproximadamente (8,16). Asimismo, los datos indican que las aceleraciones totales en un partido oscilan entre 43 y 145, mientras que las aceleraciones de alta intensidad varían de 1 a 15. En cuanto a las deceleraciones, éstas oscilan entre 24 y 95 en total, y entre 4 y 40 para las producidas a alta intensidad por partido (17). Estas variaciones, que pueden verse influidas por la posición del jugador y el nivel competitivo, subrayan la complejidad y diversidad de las demandas físicas de este deporte (18).

La velocidad en el COD es una habilidad esencial en cualquier modalidad deportiva en la que los deportistas deban realizar movimientos rápidos y fluidos para evadir a los oponentes (19). La frecuencia del COD en el baloncesto ha sido cuantificada en un rango de 91 a 345 acciones en deportistas adultos (20,21). El tiempo total empleado en acciones de COD es relativamente alto, representando entre el 18,1% y el 42,1% del tiempo de partido, con un promedio de entre 0,62 y 1,42 s por acción de alta intensidad (18,22). Los ángulos más demandados en un jugador de baloncesto oscilan entre 0° y 180°, siendo el ángulo de giro medio 45° (23).

## 1.2. Manifestaciones de la fuerza

Las acciones condicionales más determinantes en el baloncesto manifiestan esfuerzos de alta intensidad con una predominancia de los sistemas energéticos anaeróbicos, tal y como se ha expuesto anteriormente. Estas vías energéticas proporcionan los sustratos necesarios a las fibras musculares tipo IIa y IIX, las cuales se relacionan con la capacidad de la fuerza (24). De aquí se extrae la idea de que las diferentes manifestaciones de la fuerza del deportista son de vital importancia para entender la optimización de acciones condicionales como saltar, *sprintar* o cambiar de dirección.

### 1.2.1. Fuerza isométrica máxima

La fuerza isométrica máxima (FIM) puede definirse como la máxima producción de fuerza que un sujeto puede generar en una contracción isométrica máxima voluntaria (MVIC: *maximum voluntary isometric contraction*) (25). El término "isométrico" proviene de la combinación de las palabras griegas "*iso*", que significa "igual", y "*metron*", que significa "medida". Esta definición se aplica en el ámbito del entrenamiento deportivo y la fisiología del ejercicio, donde se usa para describir un tipo de contracción muscular en la que la longitud del músculo no cambia (24).

La evaluación de la FIM puede proporcionar información valiosa sobre el pico máximo de fuerza (PMF) alcanzado en una activación isométrica y los distintitos niveles de fuerza alcanzados en relación con el tiempo, concepto conocido como tasa de desarrollo de la fuerza (RFD: *rate of force development*) (26). Aunque hay varias maneras de medir la FIM, a menudo esta medición se realiza utilizando dispositivos específicos de medición de fuerza en un entorno clínico o de investigación, como plataformas de fuerza, plataformas de contacto, galgas extensiométricas o máquinas isocinéticas (4).

Es importante destacar que la FIM puede ser influenciada por una gran variedad de factores, incluyendo la longitud muscular inicial, el ángulo de la articulación en la que se hace la medición, la posición en la que se realiza el test y el tiempo bajo tensión (27). Además, debido a que la FIM implica la generación de una gran cantidad de tensión muscular, los individuos deben siempre asegurarse de realizar estos ejercicios de manera segura y bajo la supervisión de un profesional titulado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

El valor de la FIM es un buen indicador de la función neuromuscular general de una persona, pero su relación con el rendimiento deportivo es un tema controvertido entre la comunidad científica (28). El rendimiento en la capacidad de salto de un deportista está estrechamente relacionado con diferentes manifestaciones de la fuerza (29–32). Algunas de estas investigaciones han mostrado una correlación positiva entre el rendimiento en la capacidad de salto y la MVIC (29,32,33), sugiriendo que los jugadores con mayor FIM en el tren inferior mostraban mejores resultados en diferentes variables predictoras de la altura o longitud de salto.

Otros autores indican que existen correlaciones significativas entre la MVIC y varios indicadores de rendimiento del *sprint*, incluyendo el tiempo en distancias cortas (5-20 metros), la velocidad media, la velocidad máxima, la fuerza media y la potencia media (33,34). Además, la tasa de desarrollo de fuerza isométrica ( $RFD_{ISO}$ : *isometric rate of force development*) muestra tener una relación significativa con la fuerza y la potencia media durante los primeros 5 metros de un *sprint* (34).

Por otro lado, otras investigaciones han sugerido que las acciones isométricas y dinámicas poseen características fisiológicas distintas (35,36). Esta distinción lleva a pensar que los procesos que mejoran la fuerza dinámica puede que no estén vinculados con aquéllos que potencian la fuerza isométrica. A partir de esta perspectiva, se podría afirmar que los resultados obtenidos en una evaluación del rendimiento suelen estar influenciados por la similitud neural, mecánica y estructural entre el entrenamiento realizado y el tipo de rendimiento que se evalúa (26).

Las relaciones citadas anteriormente entre la FIM y diferentes variables funcionales del rendimiento deportivo se podrían intentar explicar a través de la relación de la fuerza y el tiempo. Es bien sabido que cuanto más tiempo se tiene para aplicar fuerza, mayor será la fuerza que se pueda aplicar. Sin embargo, a medida que se mejora el rendimiento deportivo y las acciones se realizan a mayor velocidad, el tiempo para aplicar fuerza se reduce. Por tanto, la mejora del rendimiento depende de la capacidad de aplicar más fuerza en menos tiempo, lo que se conoce como la relación fuerza-tiempo (37,38).



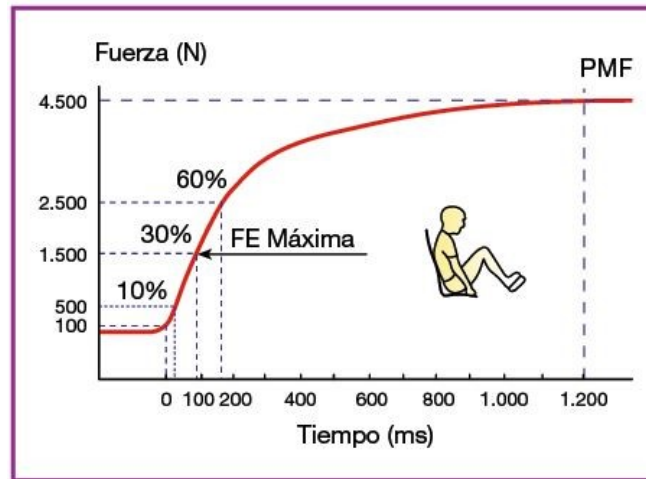


Figura 1. Curva fuerza-tiempo durante una acción muscular isométrica. N: newtons; ms: milisegundos; PMF: pico máximo de fuerza; FE máxima: fuerza explosiva máxima. Extraído de Chicharro & Vaquero.

En el ámbito del entrenamiento deportivo, a la relación entre la fuerza producida y el tiempo necesario para producirla se le llama fuerza explosiva (FE), expresada como RFD en la literatura científica (39,40). La RFD máxima (RFD<sub>MAX</sub>: *maximum rate of force development*), o fuerza explosiva máxima (FE<sub>max</sub>), se define como la máxima producción de fuerza por unidad de tiempo en toda la curva fuerza-tiempo (curva F-t) (Figura 1). En la mayoría de los casos, ésta se alcanza a los 100 milisegundos (ms) de iniciar la producción de fuerza, y suele ser muy próxima al 30% de la FIM que el sujeto alcanzará en esa misma acción (40,41).

En la mayoría de los deportes, para el rendimiento de acciones dinámicas, la mejora de la RFD<sub>ISO</sub> es más importante que el valor absoluto de la FIM por sí solo (27). Sin embargo, mejorar la FIM también puede ser relevante en ocasiones para optimizar la RFD<sub>ISO</sub>. Por tanto, se puede deducir que es posible que algunos estudios hayan encontrado relaciones positivas entre la FIM y el rendimiento físico, pudiendo ser realmente la RFD<sub>ISO</sub> la manifestación de la fuerza responsable de un rendimiento mayor.

Estos descubrimientos subrayan la relevancia de investigar las diversas manifestaciones de la fuerza como un todo integrado, en lugar de abordarlas de manera aislada. Esto se debe a la interrelación y la influencia mutua que presentan entre sí, y su impacto colectivo en el rendimiento deportivo. Por consiguiente, este documento sigue profundizando en el análisis de las diferentes manifestaciones de la fuerza que son especialmente relevantes en los deportes de equipo, proporcionando un enfoque más holístico y completo que puede contribuir a optimizar las estrategias de entrenamiento y mejorar el rendimiento de los deportistas.

### 1.2.2. Fuerza dinámica máxima

La fuerza dinámica máxima (FDM) es la cantidad máxima de fuerza que se puede producir durante una contracción concéntrica máxima voluntaria ante una resistencia que el sujeto solo pueda superar una vez, y uno de sus indicadores de intensidad básicos es la repetición máxima (1RM). La 1RM es una medida estándar utilizada en el campo de la fuerza y el acondicionamiento físico para evaluar la máxima cantidad de peso que un individuo puede levantar en una sola repetición de un ejercicio específico (38). Es una medida común de la fuerza máxima de un individuo, y su unidad de medida es el kilogramo (kg). Por tanto, de la afirmación anterior se puede deducir que un deportista tendrá tantos valores de 1RM como ejercicios compongan su entrenamiento.

La manera más precisa y segura de evaluar la FDM de un sujeto es a través de la medición de su velocidad de ejecución en un test de cargas progresivas con un instrumento llamado encoder lineal (37). La ejecución de un test de cargas progresivas tiene como objetivo estimar la 1RM de un deportista sin necesidad de levantar su carga máxima, lo cual podría conllevar un peligro potencial o inducir a una fatiga que repercutiese negativamente en su rendimiento a corto plazo. Otras mediciones que se pueden obtener al realizar un test de cargas progresivas son la fuerza dinámica relativa, RFD en cualquier punto de la curva F-t, RFD entre dos puntos de la curva F-t, RFD<sub>MAX</sub>, potencia y déficit de fuerza (27).

Es crucial recopilar información sobre cómo mejorar la fuerza y qué factores influyen en su mejora y optimización. Si los profesionales del ejercicio pretenden incrementar la fuerza de sus deportistas, deben entender inicialmente qué transformaciones fisiológicas han ocurrido o podrían ocurrir para poder planificar correctamente las progresiones en el entrenamiento de fuerza.

El desarrollo de la fuerza se sustenta en una combinación de factores neurales y estructurales o morfológicos, por lo que se denominarán a partir de ahora adaptaciones neuromusculares como término general (Figura 2) (42). Esta combinación de adaptaciones incluye: factores neurales, como la cantidad de unidades motoras (UM) reclutadas, la frecuencia de activación de UM, la coordinación intramuscular (sincronización en la activación de UM de los músculos agonistas), la coordinación intermuscular (compuesta por la inhibición de los músculos antagonistas y la coactivación de los músculos sinergistas), los cambios relacionados con el umbral de activación de la UM y el aumento del estímulo excitatorio; y factores morfológicos, como

el área de sección transversal (tanto a nivel muscular como miofibrilar), la arquitectura muscular (ángulo de peneación y longitud de la fibra muscular), estructura tendinosa (rigidez y grosor del tendón), distribución del tipo de fibra, función del retículo sarcoplasmático y mejor aprovechamiento de la energía acumulada durante el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) (42,43).

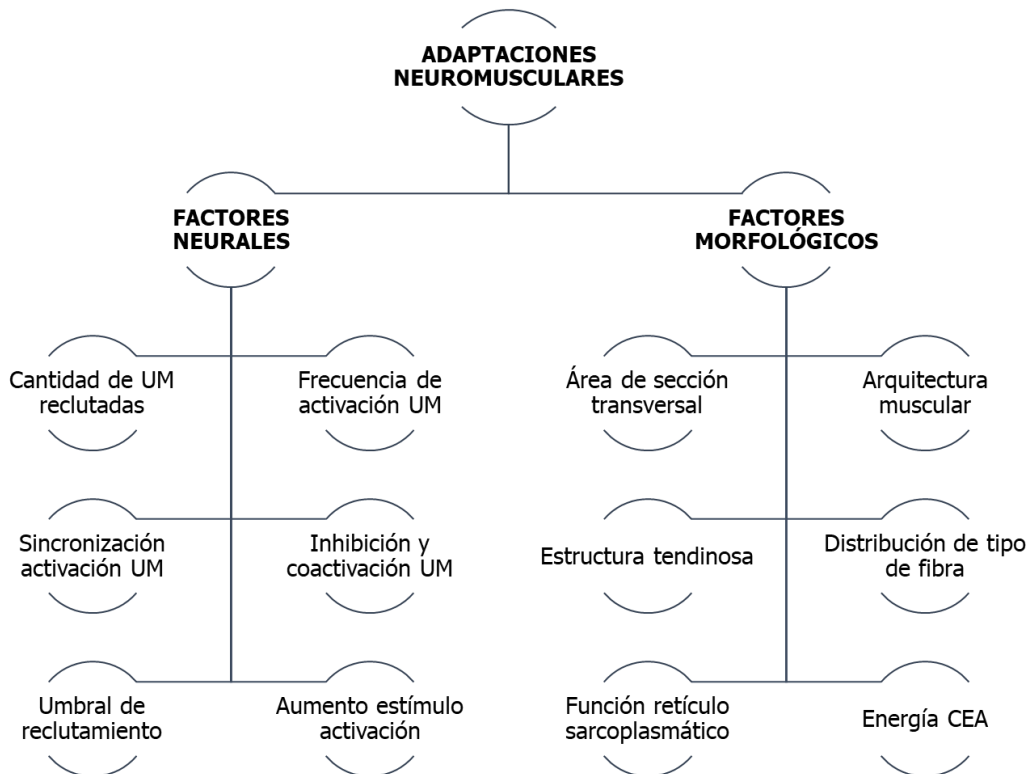


Figura 2. Adaptaciones fisiológicas del sistema neuromuscular. UM: unidad motora; CEA: ciclo estiramiento-acortamiento. Elaboración propia

Numerosos estudios avalan la existencia de un vínculo sólido entre la FDM y la habilidad de salto del deportista (9,31,32,44). Estas investigaciones sugieren que un mayor nivel de FDM podría, potencialmente, llevar a un mejor rendimiento en la capacidad de salto, un factor crítico en muchos deportes de equipo.

Por otro lado, también se ha comprobado una correlación positiva entre la FDM y el rendimiento en el *sprint* (32,45,46), o el COD (44,47,48). Estos hallazgos indican que un mayor rendimiento en la FDM puede asociarse con velocidades de *sprint* y COD más rápidas, lo cual es esencial en deportes que demandan aceleraciones cortas y rápidas, como el baloncesto.

No obstante, los profesionales del deporte deben tener en cuenta que la importancia de la FDM no se limita a la capacidad de generar la máxima cantidad de fuerza. En realidad, la FDM debe entenderse como un "medio" que promueve la mejora de otras expresiones de la fuerza esenciales para el rendimiento, como es la RFD (40,43). Como a medida que el rendimiento de un deportista aumenta, el tiempo disponible para aplicar fuerza disminuye, la habilidad de aplicar la mayor cantidad de fuerza en el menor tiempo posible (mayor RFD) vuelve a considerarse como uno de los factores más determinantes para el éxito en el deporte (37,49).

### 1.2.3. Fuerza explosiva (tasa de desarrollo de la fuerza)

La RDF es un concepto fundamental en el campo de la fisiología del músculo esquelético y su relación con el entrenamiento. Se podría definir como la capacidad del sistema neuromuscular para aumentar rápidamente la activación muscular desde un nivel de reposo o nivel de activación bajo cuando la contracción se realiza con la máxima intencionalidad de movimiento posible (50,51). En otras palabras, la RFD se enfoca en la rapidez con la cual un individuo puede generar fuerza muscular con relación al tiempo necesario para ello durante una contracción máxima voluntaria (Figura 3).

$$\mathbf{RFD} = \frac{\Delta\mathbf{F}}{\Delta\mathbf{t}}$$

*Figura 3. Ecuación que manifiesta la capacidad que tiene un grupo muscular para desarrollar tensión en la unidad de tiempo. RFD: tasa de desarrollo de la fuerza;  $\Delta F$ : variación de fuerza;  $\Delta t$ : variación de tiempo.*

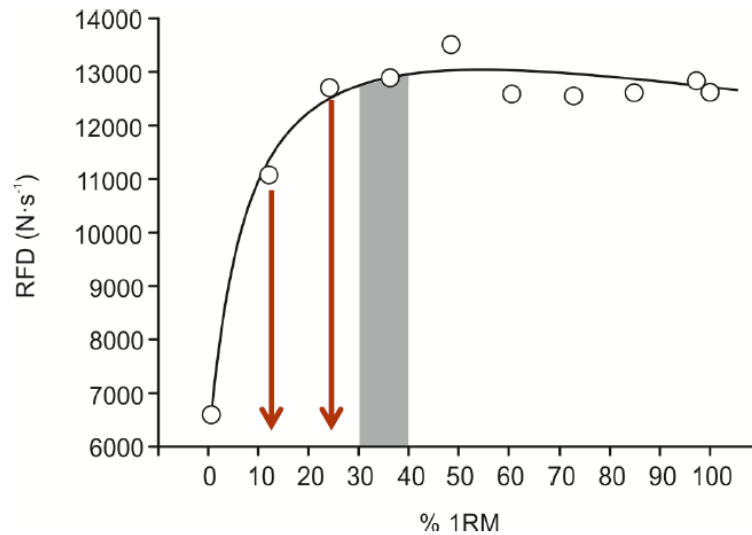
La evaluación de la RFD generalmente conlleva la medición de la fuerza generada en un intervalo de tiempo concreto desde el inicio de la contracción muscular (por ejemplo, 0-50 ms, 0-100 ms, 0-200 ms, etc.) o entre dos puntos de la curva (por ejemplo, 50-100 ms, 100-200 ms, etc.) (52,53). Esto implica que existirán tantos niveles de RFD como periodos de tiempo se quieran analizar a lo largo de la curva F-t.

Para llevar a cabo la evaluación de la RFD normalmente se utilizan equipos especializados, como células de carga o plataformas de fuerza, que permiten registrar y cuantificar la fuerza aplicada durante este intervalo de tiempo crítico (54). Estas mediciones permiten evaluar la eficiencia de factores neurales como la frecuencia de activación de las unidades motoras, su capacidad para realizar descargas dobles y la sincronización de distintas unidades motoras en una misma contracción, brindando una perspectiva valiosa sobre la capacidad del sistema neuromuscular del individuo (36).

La importancia de la RFD radica en su papel determinante en el rendimiento deportivo, especialmente en disciplinas que requieren acciones explosivas y rápidas. Deportistas involucrados en modalidades cuyo rendimiento se vincula a acciones como saltos, *sprint* o cambios de dirección, entre otros, dependen en gran medida de su capacidad para generar rápidamente fuerza muscular para lograr un rendimiento óptimo (42,49,55).

Estudios anteriores han demostrado que, en el caso de activaciones isométricas, la fuerza que se logra en el momento de alcanzar la  $RFD_{MAX}$  es aproximadamente el 30% de la FIM (38,56). Esto sugiere que, con cargas musculares superiores al 25-30% de la FIM, es probable que la  $RFD_{MAX}$  se mantenga estable y se acerque a su valor pico en términos absolutos (Figura 4) (49). Por otro lado, bajo condiciones de contracción dinámica, este valor puede variar entre el 40% y el 60% de la FDM conseguida en la activación muscular específica, en función del ejercicio seleccionado (57).

En una acción dinámica, antes de mover una resistencia, se debe aplicar una fuerza ligeramente mayor a la de la carga a vencer. Tal y como se ha expuesto anteriormente, si el valor de esta resistencia supera el equivalente al 30% de la FIM del individuo, se aplicará suficiente fuerza para alcanzar la  $RFD_{MAX}$  antes de iniciar el desplazamiento (58-60). Sin embargo, si el valor de la carga a vencer es inferior al 30% de la FIM, el movimiento comenzará antes de aplicar la fuerza necesaria para manifestar la  $RFD_{MAX}$ , disminuyendo la fuerza aplicada por unidad de tiempo conforme aumenta la velocidad de desplazamiento (37).



*Figura 4. Relación entre la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) y la intensidad relativa (%1RM). Extraída de Rodríguez-Rosell et al.*

En estas situaciones, el comienzo de la fase concéntrica ocurrirá rápidamente, por lo que es vital que la pendiente de la curva fuerza-tiempo sea lo más pronunciada posible. Este factor será determinante en el impulso total ( $I = F \times t$ ) que se pueda generar durante dicha fase concéntrica, lo cual dictará el rendimiento del deportista en última instancia (40). Por lo tanto, se podría concluir que, desde su primera evaluación en la década de 1970, se ha considerado que las características de la RFD tienen importantes consecuencias funcionales debido a su correlación positiva con el rendimiento tanto en tareas deportivas como en tareas diarias funcionales (36).

#### 1.2.4. Fuerza excéntrica

La fuerza excéntrica ( $F_{EXC}$ ) hace referencia a la capacidad de un músculo o grupo muscular de resistir y controlar la elongación ante una carga supramáxima. Desde una perspectiva biomecánica, la contracción muscular excéntrica ocurre cuando la longitud del músculo aumenta debido a que la fuerza externa es mayor que la fuerza generada por el propio músculo (61,62). Pensando en su aplicación práctica en el contexto deportivo, ésta podría manifestarse durante la fase de aterrizaje de un salto, o durante la fase de frenado de un cambio de dirección, donde el sistema músculo-esquelético absorbe la energía mecánica y reduce la energía cinética. Esta energía mecánica será disipada en forma de calor y/o se conservará como energía potencial elástica para la acción concéntrica siguiente (63,64).

La fuerza excéntrica sigue estando en entredicho hoy en día entre los profesionales del ejercicio físico. Dependiendo de la corriente de pensamiento que se utilice como referencia, se pueden observar conclusiones dispares en cuanto a qué utilidad tiene entrenar la fuerza excéntrica (65–68). Sin embargo, la comunidad científica arroja cada vez más luz sobre este tema, habiendo demostrado desde hace décadas que las acciones excéntricas juegan un papel crítico en la fisiología del ejercicio y en la optimización del rendimiento muscular (69–72).

Según los primeros estudios al respecto, la capacidad de los músculos para generar fuerza durante una contracción excéntrica supera a las acciones concéntricas e isométricas. Es notable que estas acciones excéntricas, además de ser más eficientes en términos de fuerza, requieren una menor activación de las unidades motoras (54,73). Esto sugiere que los músculos pueden producir una gran cantidad de fuerza con un coste neuromuscular relativamente menor (74). Además, estas contracciones presentan un coste metabólico inferior (75,76), lo que puede ser especialmente beneficioso para deportistas y pacientes en rehabilitación. A nivel celular, se cree que las acciones excéntricas son particularmente propicias para producir una adaptación hipertrófica, es decir, aumentar la sección transversal de la fibra muscular (70,76).

Sin embargo, no toda la información publicada al respecto muestra tener efectos beneficiosos para el sistema neuromuscular. Una de las consideraciones más importantes al trabajar con contracciones excéntricas es el potencial para el desarrollo de dolor muscular de aparición tardía, especialmente si la carga de entrenamiento es excesiva. Algunos estudios han mostrado que este tipo de contracciones puede resultar en un dolor más pronunciado en comparación con las acciones concéntricas (77).

La combinación durante un programa de entrenamiento de todas las contracciones musculares parece ser una buena estrategia para la mejora de la fuerza. Se ha demostrado que la FDM concéntrica mejora significativamente cuando se incorporan al entrenamiento acciones excéntricas junto con contracciones concéntricas (69,71). Además, el entrenamiento isocinético excéntrico, que se refiere a ejercicios en los que la velocidad del movimiento se mantiene constante, ha mostrado ser superior en términos de ganancias específicas de fuerza muscular en comparación con el entrenamiento concéntrico (78).

Teniendo en cuenta la literatura científica expuesta anteriormente, se ha demostrado que incluir acciones excéntricas en los programas de entrenamiento conlleva efectos muy beneficiosos para el aumento de la fuerza muscular de una manera más eficiente. Ahora bien, se debe seguir indagando en esta temática para aclarar si esta mejora de la fuerza es extrapolable al rendimiento funcional del deportista.

La utilización del CEA durante acciones dinámicas, como un salto con contramovimiento (CMJ: *countermovement jump*), provoca un mayor rendimiento si se compara con un salto sin contramovimiento como es el *squat jump* (SJ) que no tiene CEA (79). Durante el CEA, el músculo se estira de manera excéntrica en primera instancia, lo que provoca una mayor producción de fuerza en la posterior fase concéntrica (31,80). Ya se ha sugerido anteriormente que este incremento en la producción de fuerza se podía deber a un aumento en la potenciación de los puentes cruzados durante la fase concéntrica (81,82). Considerando que la fuerza excéntrica tiene naturaleza mecánica y es el resultado de la cantidad de puentes cruzados formados (83), se propone que una mayor fuerza excéntrica en el tren inferior podría llevar a una mayor potenciación de dichos puentes cruzados, mejorando así el rendimiento en actividades que involucran el CEA, como el CMJ (80).

Añadido a esto, otras investigaciones han examinado la influencia de la fuerza excéntrica respecto a la concéntrica del tren inferior en el rendimiento del COD (47,48). Los resultados de estos estudios fueron que la fuerza excéntrica era más relevante que la concéntrica (25,3% vs. 18,3%). Aunque ambos tipos de fuerza mostraron una correlación "muy grande" en los diferentes test de COD, la fuerza excéntrica fue el único predictor significativo, explicando el 77-79% de la variabilidad (47).



### 1.3. Métodos de entrenamiento de fuerza

Dentro de las diferentes líneas científicas integradas en el área de conocimiento de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, la investigación y aplicación de métodos de entrenamiento de la fuerza eficaces ocupan un lugar principal. La fuerza, entendida no solo como la capacidad de ejercer tensión muscular contra una resistencia, sino también en su interacción con otras capacidades físicas como la velocidad u otras variables como el tiempo, puede dar lugar a una serie de interacciones fundamentales en el rendimiento deportivo, como la potencia o la RFD y, por ende, en el desarrollo óptimo del deportista (37).

Este apartado se adentra en el análisis detallado de diversos métodos de entrenamiento de fuerza. Estos métodos, fundamentados en investigaciones empíricas y principios biomecánicos, han demostrado ser herramientas eficientes para potenciar las manifestaciones de fuerza del deportista (43). Si bien es posible implementar estos métodos de manera simultánea, es también común adaptarlos según las fases del periodo de entrenamiento, ya sea para maximizar la adaptación fisiológica o para atender necesidades específicas en la preparación deportiva (84).

El ámbito del entrenamiento de la fuerza es vasto y polifacético, lo que ha llevado al desarrollo de diversos métodos específicos para abordar sus diferentes dimensiones. A lo largo de este trabajo, se explorarán cuatro métodos clave: el método tradicional, que se centra en ejercicios resistidos con un enfoque en la mejora gradual de la capacidad de carga; el método balístico, que prioriza movimientos donde se manifiesta la máxima velocidad; el método combinado, que integra elementos de otros métodos para obtener una aproximación más holística al entrenamiento de fuerza; y finalmente, el método excéntrico, el cual pone énfasis en la fase excéntrica del movimiento, comúnmente asociada a adaptaciones únicas de entrenamiento (55). Cada uno de estos métodos ofrece ventajas específicas y aplicaciones particulares, y su elección y combinación dependerán del contexto deportivo, los objetivos de rendimiento y las necesidades individuales del deportista.

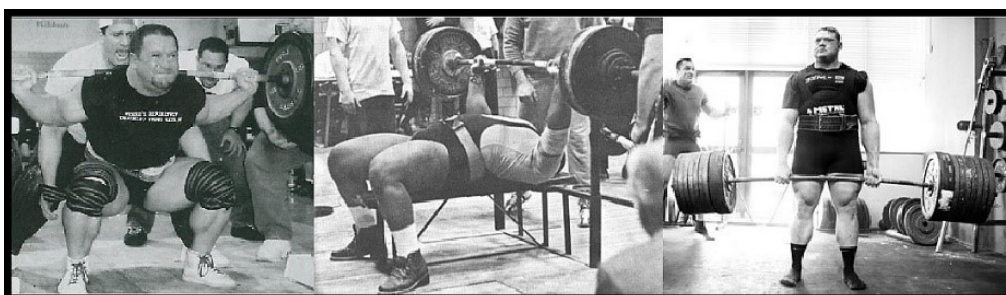
Los métodos aquí expuestos son los más populares en modalidades deportivas colectivas, pero no por ello son los únicos existentes. Con esta estructura, se busca proporcionar una guía comprensiva y detallada para una implementación efectiva y eficiente de los métodos de entrenamiento de la fuerza en el ámbito deportivo.

### 1.3.1. Entrenamiento tradicional

Los métodos tradicionales de entrenamiento de la fuerza hacen referencia a un conjunto de técnicas y/o protocolos ampliamente aceptados y empleados a lo largo de la historia del entrenamiento deportivo, cuyo principal objetivo es incrementar la capacidad de un individuo para generar más tensión muscular contra una resistencia (84). Estos métodos se caracterizan por la utilización única y exclusiva de ejercicios de fuerza, donde se moviliza una carga externa por uno o varios grupos musculares, y no se combinan con ejercicios de otra naturaleza.

El entrenamiento de fuerza tradicional se puede segmentar en tres categorías según las características mecánicas de los ejercicios: ejercicios analíticos con máquinas guiadas, diseñadas para aislar grupos musculares específicos; patrones de movimiento básicos con peso libre, que demandan una mayor activación neuromuscular, ya que involucran múltiples grupos musculares para estabilizar y movilizar la carga; y movimientos olímpicos, altamente técnicos, ideales para deportistas que requieren una combinación de altas demandas de fuerza, velocidad y técnica (55).

Tradicionalmente se ha recurrido a los ejercicios basados en máquinas o ejercicios analíticos en contexto de rehabilitación de lesiones (85), aunque hay un cuestionamiento creciente sobre su eficacia cuando se trata de mejorar características fundamentales como la fuerza, especialmente en su transferencia al rendimiento deportivo (86). Esto se sustenta en el hecho de que en el ámbito deportivo es raro que los deportistas utilicen grupos musculares de manera aislada durante las acciones deportivas específicas. Como resultado, aunque estos ejercicios analíticos puedan mejorar la fuerza de un músculo o grupo muscular específico, la transferencia funcional de estas mejoras a situaciones deportivas reales es notoriamente limitada (87,88).



*Figura 5. Ejercicios basados en patrones de movimiento básicos con peso libre (de izquierda a derecha: sentadilla, press banca, peso muerto).*

Por otro lado, los ejercicios de patrones de movimiento básicos con peso libre (Figura 5), que incorporan múltiples grupos musculares, han demostrado ser una mejor opción de entrenamiento que los citados anteriormente, particularmente para el desarrollo integral de algunas manifestaciones de la fuerza que son cruciales en el deporte (86,89,90). Una de las razones subyacentes es que estos movimientos multiarticulares, siendo realizados con peso libre, requieren un mayor grado de coordinación y reclutamiento muscular (43). Esta demanda coordinativa, así como la activación muscular simultánea, se alinean más estrechamente con las demandas de una situación deportiva real (91).

Sin embargo, este tipo de ejercicios presentan una desaceleración significativa al final del rango de movimiento (92,93). Aunque se ejecuten con la mayor intencionalidad de movimiento posible o con cargas ligeras, con el objetivo de buscar la especificidad deportiva, esta desaceleración conlleva velocidades medias más bajas que las encontradas en acciones deportivas específicas como sería un salto (94), o un lanzamiento (95). Esta desaceleración está asociada con una menor activación muscular de los músculos agonistas y una mayor activación en los músculos antagonistas, con el fin de frenar la carga al final del rango de movimiento (93). Como resultado, la transferencia del entrenamiento a partir de estos ejercicios tradicionales se ve limitada. Sin embargo, éstos han demostrado ser eficaces para mejorar el rendimiento en acciones específicas como el salto vertical, el *sprint* y el cambio de dirección (96–98). Este aumento del rendimiento se asocia principalmente a adaptaciones neurales y morfológicas generales que mejoran diferentes manifestaciones de la fuerza, como podría ser la FDM o la RFD (99,100).

Por último, se presentan los movimientos olímpicos y sus derivados (Figura 6), que han mostrado ser superiores en términos de adaptaciones neuromusculares en comparación con otros métodos o técnicas de entrenamiento, como el entrenamiento de fuerza con patrones básicos de movimiento (101,102), el entrenamiento pliométrico (103) o el entrenamiento con kettlebells (104). Esta eficacia inherente ha llevado a que dichos movimientos sean incorporados de manera constante y prioritaria en numerosos programas de entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento físico.

Una característica distintiva de los movimientos olímpicos radica en su capacidad para estimular adaptaciones tanto en el ámbito de la fuerza como en la velocidad. Esta dualidad permite a los deportistas mover cargas que varían de moderadas a altas, con

una intencionalidad de movimiento máxima (105). En el contexto deportivo, los patrones de movimiento intrínsecos a este tipo de ejercicios guardan una semejanza notable con acciones determinantes comunes a la mayoría de los deportes (106). Esta analogía no es mera coincidencia, ya que algunas investigaciones han revelado que hay una similitud cinética entre la fase propulsiva de los levantamientos olímpicos y acciones como el salto (107), o el *sprint* (106). Esta relación se ve aún más reforzada por las correlaciones observadas entre la ejecución de estos movimientos y la potencia generada en dichas acciones (108).



*Figura 6. Movimiento olímpico principal, la arrancada de fuerza.*

Si se profundiza en las implicaciones prácticas de estos hallazgos, se puede concluir que el entrenamiento de fuerza tradicional puede optimizar diferentes aspectos relacionados con las manifestaciones de la fuerza, pero no alcanza a cubrir el espectro tan específico que presentan los deportes de equipo. Esta falta de especificidad hace de este método de entrenamiento una opción viable en periodos de la temporada donde las adaptaciones que se busquen obtener sean generales, pero no en periodos de optimización del rendimiento.

### 1.3.2. Entrenamiento balístico

El entrenamiento balístico es un método de entrenamiento de la fuerza que se centra en realizar ejercicios o movimientos combinando la máxima intencionalidad de movimiento y una carga externa que permita producir velocidades máximas, manifestando una aceleración incremental a través de todo el rango de movimiento hasta el punto de despegue o lanzamiento (95). Existe controversia terminológica con relación al concepto "balístico", ya que parte de la comunidad científica engloba bajo la misma categoría al entrenamiento pliométrico, mientras que otro sector incide en tratarlos como métodos diferentes (55). Algunos investigadores atribuyen que la única diferencia es que el entrenamiento balístico utilizaría cargas ligeras-moderadas, mientras que el entrenamiento pliométrico se realizaría con el propio peso corporal (109). El doctorando ha decidido englobar bajo este apartado las dos concepciones, dado que ambas cumplen el requisito de acelerar el movimiento durante todo el rango de movimiento hasta una proyección final. Sin embargo, el entrenamiento balístico (con carga externa) y el entrenamiento balístico pliométrico (sin carga externa) se presentarán en secciones diferentes, con el fin de detallar y distinguir las características que podrían inducir a diferentes tipos de adaptaciones.

La característica clave del entrenamiento balístico, tal y como se ha comentado en el párrafo anterior, es que produce aceleración a lo largo de toda la fase concéntrica del movimiento, manifestando así mayores valores medios de velocidad, fuerza, potencia y activación muscular, en comparación con el entrenamiento de fuerza tradicional (94). Por lo tanto, muchos investigadores y profesionales del ejercicio recomiendan la utilización del entrenamiento de fuerza balístico en lugar del entrenamiento de fuerza tradicional con el objetivo de mejorar la RFD o la manifestación de potencia máxima (55,94,110).

Las recomendaciones actuales enfatizan dos componentes esenciales en este método de entrenamiento. Primero, se destaca la importancia de que los ejercicios seleccionados sean altamente específicos al gesto deportivo (55). Esta especificidad es esencial, porque puede desencadenar adaptaciones neuromusculares que favorezcan una transferencia más eficiente y directa al rendimiento en una gran variedad de modalidades deportivas. En segundo lugar, dada la naturaleza de estos ejercicios específicos, donde se espera una proyección al final de la fase concéntrica, resulta de vital importancia que la carga externa aplicada sea ligera o moderada (43). Esta limitación en la carga facilita la manifestación óptima de la  $RFD_{MAX}$ , tal y como se trataba en apartados anteriores (49).

Diversos estudios científicos respaldan estas recomendaciones, mostrando que tras un protocolo de entrenamiento de fuerza balístico se observan mejoras significativas en la RFD (109), manifestada durante acciones que resultan determinantes en deportes de equipo, tales como el salto (111), o el *sprint* (112).

Por otro lado, el entrenamiento pliométrico se caracteriza por la ejecución a máxima velocidad del CEA. A pesar de que los ejercicios pliométricos tienen una naturaleza balística, en este trabajo se les distingue de otros ejercicios balísticos debido a que no se implementa una carga externa sobre ellos. Es decir, los ejercicios pliométricos se llevan a cabo sin resistencia externa; únicamente se moviliza el propio peso corporal del deportista. La forma de introducir sobrecarga en estos ejercicios es incrementando la ratio de estiramiento por la minimización del tiempo disponible para el CEA, o incrementando directamente la carga de estiramiento (113).

El entrenamiento pliométrico es versátil y puede adaptarse a diferentes necesidades. Puede ser diseñado para trabajar con movimientos que requieran un CEA de corta duración, que suelen tener un tiempo de contacto entre 100 y 250 ms. Este tipo de CEA es común en actividades como los *sprint*, saltos de longitud o saltos de altura. Por otro lado, también puede adaptarse a actividades que requieran un CEA de larga duración, en las que el tiempo de contacto excede los 250 ms, como es el caso de un CMJ (55). Gracias a su posibilidad de adaptación para trabajar ambos tipos de CEA y su naturaleza balística, los ejercicios pliométricos resultan ser herramientas altamente específicas para entrenar diversos movimientos habituales en el ámbito deportivo. Es por ello por lo que su inclusión en programas de entrenamiento y acondicionamiento físico ha evidenciado notables mejoras en el rendimiento en acciones específicas comunes a la mayoría de disciplinas deportivas, como saltos, *sprint* y cambios de dirección (19,113,114).

Los hallazgos obtenidos en las investigaciones citadas sugieren que el entrenamiento balístico tiene la capacidad de inducir adaptaciones neuromusculares que parecen estar vinculadas con la aplicación de fuerza en el tiempo específico al gesto de competición. Esta relación sugiere que este método de entrenamiento podría ser una opción muy interesante para aquellos momentos de la temporada regular donde el objetivo principal del deportista sea la optimización del rendimiento físico.

### 1.3.3. Entrenamiento combinado

Se ha expuesto en apartados anteriores que tanto el entrenamiento de fuerza tradicional como el entrenamiento de fuerza balístico han demostrado mejorar diferentes manifestaciones de la fuerza relacionadas con acciones determinantes en el rendimiento deportivo. Por tanto, se podría esperar que las metodologías de entrenamiento que combinan ambos métodos, a través de ejercicios tradicionales ejecutados a baja velocidad con cargas altas, y ejercicios balísticos ejecutados a alta velocidad con cargas ligeras, también resulten en incrementos del rendimiento físico.

El método de entrenamiento combinado hace referencia a una estrategia que integra cargas tanto pesadas como ligeras, buscando producir adaptaciones neuromusculares que optimicen diferentes manifestaciones de la fuerza relevantes para los deportes de equipo, como son la FDM y la RFD (43). Durante las últimas décadas, profesionales e investigadores del deporte han sido testigos de la emergencia y consolidación de dos enfoques diferentes de entrenamiento combinado: el método combinado complejo (CPX: *complex training*) (115,116), y el método combinado de contraste (CNT: *combined training*) (117,118).

A primera vista, para aquellas personas no familiarizadas con estas técnicas, puede resultar fácil confundir o usar indistintamente los términos "entrenamiento combinado complejo" y "entrenamiento combinado de contraste". Sin embargo, al profundizar en sus características, se hace evidente una diferencia sustancial que reside en la disposición y estructuración de los ejercicios durante la sesión de entrenamiento.

El método CPX se basa en una integración intraserie, donde en una misma serie o bloque de ejercicios se combinan movimientos tradicionales de carga moderada-alta con ejercicios balísticos de carga ligera, o incluso sin carga (119). Estos ejercicios suelen ser biomecánicamente semejantes. Un ejemplo práctico que ilustra este concepto es la combinación de sentadillas (ejercicio tradicional con carga moderada-alta con una manifestación de velocidad baja pese a movilizarlo a la máxima intencionalidad), seguido inmediatamente por un CMJ (ejercicio balístico con carga ligera con una manifestación de velocidad alta) (115,119).

Por otro lado, el método CNT presenta una organización más segmentada en su estructura de sesión. En este enfoque, la sesión comienza con una fase dedicada exclusivamente a ejercicios tradicionales de fuerza con cargas moderadas-altas (por

ejemplo, sentadillas). Una vez concluida esta fase, la sesión transita hacia una segunda etapa en la que se ejecutan ejercicios balísticos, pero usando cargas significativamente más ligeras, o incluso sin carga externa (por ejemplo, CMJ) (118,120)

Un estímulo mecánico como es el de movilizar una resistencia moderada-alta puede provocar un aumento en la excitabilidad de la motoneurona, creando condiciones de entrenamiento óptimas para los ejercicios balísticos posteriores (121,122). Esta estrategia, conocida como potenciación post-activación (PAP: *post-activation potentiation*), actúa como un posible mecanismo que explica los beneficios potenciales del método de entrenamiento combinado (123,124). El uso de movimientos biomecánicamente similares movilizand las cargas más pesadas en primer lugar, potencia el ejercicio balístico siguiente debido a diferentes efectos fisiológicos agudos como la fosforilación de las cadenas ligeras de miosina, mayor actividad de ATP y capacidad contráctil, y la utilización de un reclutamiento motor de orden superior y fibras musculares tipo II (125,126).

El perfil fuerza-velocidad de un deportista también puede beneficiarse significativamente de este método de entrenamiento, tal y como respalda la literatura previa (127). Diversos autores defienden que el entrenamiento de fuerza con cargas altas optimiza el rendimiento en situaciones de altas demandas de fuerza, mientras que las cargas ligeras mejoran el rendimiento en zonas de alta velocidad del perfil fuerza-velocidad. La combinación de ambas cargas en un mismo programa de entrenamiento tiene como objetivo potenciar la relación entre fuerza y velocidad, buscando maximizar la potencia a lo largo de toda la curva (117,127). Cada vez más estudios demuestran que este entrenamiento combinado ofrece mejoras significativas en el rendimiento físico en comparación con programas que usan un solo tipo de carga (111,127,128).

El entrenamiento combinado emerge como una herramienta esencial para deportistas de alto rendimiento que compiten regularmente. Esta metodología permite abordar y mejorar diversas manifestaciones de la fuerza a lo largo del ciclo competitivo, trabajando con un espectro completo de la relación fuerza-velocidad.



#### 1.3.4. Entrenamiento con sobrecarga excéntrica

La investigación en el campo de las Ciencias del Deporte ha arrojado resultados consistentes en cuanto a la eficacia de los métodos convencionales de entrenamiento de fuerza. Estos métodos han probado ser útiles en la optimización de patrones de movimiento específicos tan esenciales para el deportista, tales como saltar, *sprintar* o cambiar de dirección (113,129). Esos movimientos son fundamentales en numerosas modalidades deportivas, y su optimización puede ser determinante para el rendimiento del deportista.

Sin embargo, el paradigma del entrenamiento de fuerza ha ido progresando de manera exponencial. En los últimos años, se ha presenciado un auge significativo en la literatura científica respecto a la inclusión de programas de entrenamiento que ponen especial énfasis en la sobrecarga excéntrica (64,71,72). Esta evolución representa una innovación en la comprensión y aplicación de métodos de entrenamiento enfocados a la mejora de la fuerza.

Existen diferentes técnicas para entrenar mediante el método excéntrico, aunque una de ellas destaca sobre las demás: el entrenamiento con sistemas de inercia rotacional. Este tipo de entrenamiento se caracteriza por utilizar diferentes sistemas inerciales con el objetivo de sobrecargar la fase excéntrica del movimiento (130). El entrenamiento mediante sistemas inerciales ha ganado reconocimiento y se ha convertido en un método ampliamente aceptado en el ámbito del entrenamiento deportivo (71,72). Aunque los métodos de entrenamiento convencionales con máquinas o peso libre pueden proporcionar cierto grado de sobrecarga excéntrica, los sistemas inerciales, que se basan en la inercia que generan sus discos durante la rotación, ofrecen la ventaja de producir altos niveles de fuerza y potencia a lo largo de todo el rango de movimiento (131). No obstante, este tipo de maquinaria no sobrecarga la fase excéntrica del movimiento por sí sola, sino que requiere que el profesional del ejercicio físico proponga alteraciones técnicas de los movimientos ejecutados, como por ejemplo, frenar el movimiento en el último tercio de la fase excéntrica.

Este método de entrenamiento produce adaptaciones fisiológicas del sistema neuromuscular que son cruciales para mejorar diversas manifestaciones de la fuerza. Estas mejoras se pueden categorizar en: adaptaciones de la función mecánica (FDM, RFD,  $F_{EXC}$  y rigidez), adaptaciones morfológicas (tendón y área de sección transversal de la fibra muscular) y adaptaciones neurales (reclutamiento de UM rápidas y tasa de

activación) (132). Además de la adaptación producida desde un punto de vista de la fisiología del sistema neuromuscular, un dato relevante a destacar es la eficacia de este método de entrenamiento sobre acciones específicas del rendimiento físico. En la mayoría de los estudios analizados, se han encontrado mejoras sustanciales en el rendimiento de la velocidad lineal y el cambio de dirección (133–135), que son factores determinantes en muchos deportes de equipo. Además, otro beneficio evidente ha sido la mejora en el rendimiento de saltos en diversos planos de movimiento (135,136).

Esta información permite destacar otro aspecto positivo del método excéntrico con sistemas inerciales respecto a métodos convencionales, como es la diversidad en cuanto a la realización de ejercicios específicos del deporte en múltiples planos de movimiento. Esta característica permite una diferenciación de los planos tradicionales y una aproximación a ejercicios que simulan escenarios similares a la competición deportiva (133,134), pudiendo introducir trabajo unilateral multidireccional y/o reproducción de movimientos técnicos con o sin balón (Figura 7).



*Figura 7. Comparativa de movimientos específicos en diversos planos de movimiento ejecutados en polea cónica con su entorno deportivo real. Adaptado de Gonzalo-Skok et al.*

## 1.4. La direccionalidad de aplicación de fuerza en el entrenamiento

### 1.4.1. Concepto y relevancia en el entrenamiento de fuerza.

La habilidad del sistema neuromuscular para producir fuerza rápidamente en una dirección específica resulta fundamental en disciplinas deportivas cuyas acciones determinantes son de naturaleza multidireccional (137). La mayoría de los movimientos que se reproducen durante la competición en el baloncesto requieren que los jugadores produzcan fuerza de manera unilateral en contextos impredecibles y variables, con énfasis en patrones de movimiento excéntricos y multidireccionales (20). Siguiendo el principio de especificidad, es esencial abordar las necesidades específicas del baloncesto, especialmente cuando se requiere aplicar fuerza en diferentes vectores de fuerza o planos de movimiento, mediante estímulos de entrenamiento basados en sus demandas mecánicas específicas (138).

Además, investigaciones anteriores han resaltado la relevancia de alinear los ejercicios que se proponen al deportista a través del entrenamiento con los requerimientos biomecánicos específicos del deporte en cuestión (139). La elección de ejercicios a incluir en el entrenamiento debería requerir del análisis e identificación de las tareas que más transferencia tengan hacia las acciones determinantes del rendimiento funcional en baloncesto, de acuerdo con el principio de especificidad (140). Esta especificidad puede ser determinada por diversos parámetros, como el tipo de acción muscular, los grupos musculares principales, ángulos articulares relevantes, o velocidades específicas de contracción (141). Añadido a lo anterior, aspectos como la direccionalidad de aplicación de fuerza o especificidad vectorial deberían ser considerados elementos cruciales a la hora de programar el entrenamiento (137). Este enfoque se integra en el concepto de correspondencia dinámica, reconocido como un marco teórico sólido para desarrollar programas de entrenamiento adaptados a las necesidades específicas de cada deporte (140).

En base a este razonamiento, surge la idea de la especificidad en la direccionalidad de aplicación de fuerza, cuyo concepto hace referencia a que la dirección en la que se aplica la fuerza durante el entrenamiento (es decir, vertical/ascendente, horizontal/postero-anterior o lateral/latero-medial) tiene una correspondencia directa y específica con las adaptaciones y mejoras en el rendimiento deportivo (141). En términos prácticos, esto significa que los ejercicios que se caracterizan por un vector de fuerza predominantemente vertical, como las sentadillas, el peso muerto, la prensa de piernas o saltos verticales, tienen una mayor transferencia hacia acciones que requieren un vector

de fuerza similar, como sería el caso del CMJ, CMJL y CMJR (139). Por otro lado, los ejercicios con una orientación horizontal, tales como la extensión de cadera en posición supina, la extensión de cadera en posición vertical o los saltos horizontales, tienden a ser más efectivos para mejorar el rendimiento en tareas que implican desplazamientos horizontales del centro de masas, como los HJL, HJR, el *sprint* lineal y los cambios de dirección (141).

Cabe señalar que en la literatura relacionada con el vector de fuerza, existe cierta controversia en términos como "horizontal" y "vertical", ya que pueden hacer referencia tanto a la orientación específica del cuerpo (eje de coordenadas local) como a la del entorno general (eje de coordenadas global) (142). Para aclarar la utilización de esta terminología a lo largo del presente trabajo, se tomará el eje de coordenadas local como punto de referencia para clasificar a los ejercicios de entrenamiento (vertical: sentadilla; horizontal: extensión de cadera).

#### 1.4.2. Efectos sobre el rendimiento físico.

La importancia de aplicar fuerza en la dirección deseada ha sido destacada por diversos autores para alcanzar un rendimiento óptimo del movimiento, en lugar de simplemente aumentar las fuerzas de reacción contra el suelo *per se* (143). En los últimos años, ha habido un aumento de estudios longitudinales que respaldan la selección de ejercicios en diferentes planos de movimiento con el objetivo de producir adaptaciones funcionales específicas (129,134,144), sustentando así el concepto de especificidad en la direccionalidad de aplicación de fuerza. El uso de ejercicios ejecutados en el mismo vector de fuerza donde tiene lugar el movimiento específico del deporte, o en la dirección del movimiento que se desea mejorar, promueve una correspondencia dinámica superior, consiguiendo así una mayor transferencia del entrenamiento (141,144,145).

De acuerdo con el nuevo concepto propuesto, programas de entrenamiento tradicional compuestos por ejercicios con diferentes direccionalidades en la aplicación de fuerza, tales como la sentadilla y la extensión de cadera (vertical vs. horizontal), han demostrado ser beneficiosos para mejorar la capacidad de salto en sus direccionalidades específicas en jóvenes jugadores de fútbol (129), jóvenes jugadores de rugby y jóvenes remeros (141). Siguiendo la misma línea de resultados, otras investigaciones han demostrado conseguir mejoras en el salto vertical y horizontal, específicas a la direccionalidad de aplicación de fuerza empleada durante programas de entrenamiento con sobrecarga

excéntrica en jóvenes deportistas de equipo (134), y durante programas de entrenamiento pliométrico en jóvenes jugadores de baloncesto (146). A pesar de estos resultados, otras investigaciones no han encontrado diferencias significativas sobre el salto vertical al comparar un programa de entrenamiento con sobrecarga excéntrica con orientación vertical con otro de orientación horizontal en jóvenes jugadores de fútbol, dado que ambas estrategias parecían ser efectivas (133).

Diversos estudios han señalado que el entrenamiento tradicional compuesto por ejercicios que enfatizan la aplicación de fuerza horizontal, como la extensión de cadera, ha mejorado el rendimiento en la velocidad lineal de jóvenes deportistas de fútbol, rugby y remo (129,141). De igual manera, se ha demostrado que a través de programas de entrenamiento balístico con una aplicación de fuerza horizontal se alcanzan mejoras significativas en la velocidad lineal del *sprint* en jóvenes jugadores de fútbol (144). Sin embargo, otros autores no han obtenido mejoras significativas en el *sprint* lineal tras un protocolo de entrenamiento con sobrecarga excéntrica orientado a una aplicación de fuerza multidireccional en jóvenes jugadores de fútbol (133).

Otros autores indican que el entrenamiento multidireccional, que abarca diferentes vectores de aplicación de fuerza, es más efectivo para mejorar variables funcionales multidireccionales, como la velocidad del COD, en deportistas de disciplinas colectivas (133,134). En línea con estos resultados, es relevante destacar que otras investigaciones han expuesto que un protocolo de entrenamiento pliométrico, en el que se combinan ejercicios horizontales y verticales, es más efectivo para mejorar la velocidad del cambio de dirección en comparación con programas de entrenamiento pliométrico vertical u horizontal por sí solos en jóvenes jugadores de fútbol y baloncesto (145,146).

Estos hallazgos arrojan información muy relevante que permite descubrir más detalles acerca de la importancia de la especificidad en la direccionalidad de aplicación de la fuerza. Sin embargo, la literatura presente no es concluyente todavía como para determinar con exactitud el grado de relevancia que se debe otorgar a este enfoque de entrenamiento. Se necesita más información al respecto para poder asentar unas bases sólidas de este nuevo paradigma.

### 1.4.3. Efectos sobre el rendimiento en el baloncesto

Esta información revela la importancia de evaluar correctamente las manifestaciones de fuerza determinantes en el jugador de baloncesto y su tiempo de aplicación, basándose en los gestos específicos ejecutados en la competición. En función del rol de cada jugador, la manifestación de fuerza principal puede variar, ya que la aplicación de fuerza por unidad de tiempo no será la misma (147). Por ejemplo, un jugador interior puede encontrarse con una acción de lucha contra un oponente, donde ambos aplican su máxima fuerza a través de un empuje en régimen isométrico durante 5 segundos (manifestación de fuerza relevante en esta acción: FIM y RDFi) a la espera de un rebote; al mismo tiempo, un jugador exterior puede encontrarse con la necesidad de aplicar su máxima fuerza en el menor tiempo posible a través de un CEA (manifestación de fuerza relevante en esta acción: RFD y  $F_{EXC}$ ) para ejecutar un cambio de dirección y librarse de su defensor, con el objetivo de recibir un pase y poder tirar a canasta. Por tanto, los enfoques de entrenamiento que se deben proponer han de ser a través de métodos que permitan una aplicación de fuerza multidireccional, manifestando fases del movimiento tanto concéntricas como excéntricas, y fomentando la producción de fuerza útil en el tiempo disponible del entorno deportivo real (148).

Estos condicionantes acotan los métodos de entrenamiento que se pueden utilizar, dado que no todos permiten aplicar fuerza de manera multidireccional y, aún menos, sobrecargar la fase excéntrica del movimiento. Por ello, durante los últimos años, métodos como la pliometría, el entrenamiento combinado y los sistemas inerciales han tomado especial relevancia entre los profesionales del ejercicio físico (76,114,121).

El estudio de la direccionalidad de aplicación de fuerza a través de estos tres métodos de entrenamiento ha sido analizado de manera mayoritaria en disciplinas como fútbol, rugby o atletismo (134,149,150). Sin embargo, solo existe una publicación en la literatura científica que haya comparado diferentes direccionalidades de aplicación de fuerza a través de un programa de entrenamiento pliométrico en jugadores adultos de baloncesto (146). Los resultados de esta investigación indican que la combinación de ambos vectores (vertical y horizontal) mejora más el rendimiento que entrenar una sola direccionalidad. Además, destaca que entrenar una sola direccionalidad de aplicación de fuerza, mejorará principalmente el rendimiento en tareas orientadas vertical u horizontalmente, respectivamente. No existen publicaciones que hayan estudiado este efecto en jóvenes jugadores de baloncesto (U13-U18).

## Referencias

1. Parlebas P. JUEGOS, DEPORTE Y SOCIEDADES. Léxico de praxeología motriz. Editorial Paidotribo; 2008. 506 p.
2. FIBA.basketball. Reglas de Juego [Internet]. 2023. Available from: <https://www.fiba.basketball/es/basketball-rules>
3. Scanlan AT, Dascombe BJ, Reaburn P, Dalbo VJ. The physiological and activity demands experienced by Australian female basketball players during competition. *J Sci Med Sport*. 2012 Jul;15(4):341–7.
4. Katch VL. Fisiología del ejercicio: fundamentos. Editorial Médica Panamericana S.A.; 2014. 702 p.
5. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med Auckl NZ*. 2005;35(6):501–36.
6. Gottlieb R, Shalom A, Calleja-Gonzalez J. Physiology of Basketball - Field Tests. Review Article. *J Hum Kinet*. 2021 Jan;77:159–67.
7. Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med Auckl NZ*. 2005;35(9):757–77.
8. Taylor JB, Wright AA, Dischiavi SL, Townsend MA, Marmon AR. Activity Demands During Multi-Directional Team Sports: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ*. 2017 Dec;47(12):2533–51.
9. Sheppard JM, Cronin JB, Gabbett TJ, McGuigan MR, Etxebarria N, Newton RU. Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *J Strength Cond Res*. 2008 May;22(3):758–65.
10. Krüger K, Pilat C, Uckert K, Frech T, Mooren FC. Physical performance profile of handball players is related to playing position and playing class. *J Strength Cond Res*. 2014 Jan;28(1):117–25.
11. Ziv G, Lidor R. Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports Med Auckl NZ*. 2009;39(7):547–68.
12. Scanlan AT, Dascombe BJ, Kidcaff AP, Peucker JL, Dalbo VJ. Gender-specific activity demands experienced during semiprofessional basketball game play. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015 Jul;10(5):618–25.
13. Stojanović E, Stojiljković N, Scanlan AT, Dalbo VJ, Berkelmans DM, Milanović Z. The Activity Demands and Physiological Responses Encountered During Basketball Match-Play: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ*. 2018 Jan;48(1):111–35.
14. Scanlan A, Dascombe B, Reaburn P. A comparison of the activity demands of elite and sub-elite Australian men's basketball competition. *J Sports Sci*. 2011 Aug;29(11):1153–60.

15. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci.* 2006 Sep;24(9):919–32.
16. Ben Abdelkrim N, Castagna C, Jabri I, Battikh T, El Fazaa S, El Ati J. Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. *J Strength Cond Res.* 2010 Sep;24(9):2330–42.
17. Petway AJ, Freitas TT, Calleja-González J, Medina Leal D, Alcaraz PE. Training load and match-play demands in basketball based on competition level: A systematic review. *PLoS One.* 2020;15(3):e0229212.
18. Ben Abdelkrim N, El Fazaa S, El Ati J. Time-motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *Br J Sports Med.* 2007 Feb;41(2):69–75; discussion 75.
19. Asadi A, Arazi H, Young WB, Sáez de Villarreal E. The Effects of Plyometric Training on Change-of-Direction Ability: A Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016 Jul;11(5):563–73.
20. Ben Abdelkrim N, Castagna C, El Fazaa S, El Ati J. The effect of players' standard and tactical strategy on game demands in men's basketball. *J Strength Cond Res.* 2010 Oct;24(10):2652–62.
21. Klusemann MJ, Pyne DB, Hopkins WG, Drinkwater EJ. Activity profiles and demands of seasonal and tournament basketball competition. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013 Nov;8(6):623–9.
22. Conte D, Favero TG, Lupo C, Francioni FM, Capranica L, Tessitore A. Time-motion analysis of Italian elite women's basketball games: individual and team analyses. *J Strength Cond Res.* 2015 Jan;29(1):144–50.
23. Robinson G, O'Donoghue P. A movement classification for the investigation of agility demands and injury risk in sport. *Int J Perform Anal Sport.* 2008 Feb 1;8:127–44.
24. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fisiología Del Ejercicio: Nutrición, Rendimiento y Salud.* Lippincott Williams & Wilkins; 2015. 1088 p.
25. Stone MH, Sands WA, Carlock J, Callan S, Dickie D, Daigle K, et al. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J Strength Cond Res.* 2004 Nov;18(4):878–84.
26. Blazeovich AJ, Wilson CJ, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. Effects of Resistance Training Movement Pattern and Velocity on Isometric Muscular Rate of Force Development: A Systematic Review with Meta-analysis and Meta-regression. *Sports Med Auckl NZ.* 2020 May;50(5):943–63.
27. Chicharro JL, Vaquero AF. *Fisiología del Ejercicio.* Ed. Médica Panamericana; 2013. 1010 p.
28. Requena B, González-Badillo JJ, de Villareal ESS, Erelina J, García I, Gapeyeva H, et al. Functional performance, maximal strength, and power characteristics in isometric and dynamic actions of lower extremities in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2009 Aug;23(5):1391–401.



29. Katartzi E, Gantiraga E, Komsis G, Papadopoulos C. The relationship between specific strength components of lower limbs and vertical jumping ability in school-aged children. *J Hum Mov Stud.* 2005 Jan 1;48:227–43.
30. McGuigan MR, Winchester JB. The relationship between isometric and dynamic strength in college football players. *J Sports Sci Med.* 2008;7(1):101–5.
31. Nuzzo JL, McBride JM, Cormie P, McCaulley GO. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):699–707.
32. Boraczyński M, Boraczyński T, Podstawski R, Wójcik Z, Gronek P. Relationships Between Measures of Functional and Isometric Lower Body Strength, Aerobic Capacity, Anaerobic Power, Sprint and Countermovement Jump Performance in Professional Soccer Players. *J Hum Kinet.* 2020 Oct;75:161–75.
33. Scanlan AT, Wen N, Guy JH, Elsworthy N, Lastella M, Pyne DB, et al. The Isometric Midhigh Pull in Basketball: An Effective Predictor of Sprint and Jump Performance in Male, Adolescent Players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019 Oct 10;1–7.
34. Townsend JR, Bender D, Vantrease WC, Hudy J, Huet K, Williamson C, et al. Isometric Midhigh Pull Performance Is Associated With Athletic Performance and Sprinting Kinetics in Division I Men and Women’s Basketball Players. *J Strength Cond Res.* 2019 Oct;33(10):2665–73.
35. Andersen LL, Andersen JL, Zebis MK, Aagaard P. Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scand J Med Sci Sports.* 2010 Feb;20(1):e162-169.
36. Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol.* 2016 Jun;116(6):1091–116.
37. Badillo JJG. La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de fuerza. Juan José González Badillo; 2017. 205 p.
38. Badillo JJG, Serna JR. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. INDE; 2002. 378 p.
39. Aagaard P, Andersen JL. Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc.* 1998 Aug;30(8):1217–22.
40. Badillo JJG, Ayestarán EG. Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo: texto básico del Máster Universitario en Alto Rendimiento Deportivo del Comité Olímpico Español y de la Universidad Autónoma de Madrid. INDE; 2002. 334 p.
41. Häkkinen K, Alén M, Komi PV. Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur J Appl Physiol.* 1984;53(2):97–105.

42. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med Auckl NZ*. 2011 Jan 1;41(1):17–38.
43. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med Auckl NZ*. 2016 Oct;46(10):1419–49.
44. Peterson MD, Alvar BA, Rhea MR. The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *J Strength Cond Res*. 2006 Nov;20(4):867–73.
45. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*. 2004 Jun;38(3):285–8.
46. Comfort P, Stewart A, Bloom L, Clarkson B. Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res*. 2014 Jan;28(1):173–7.
47. Spiteri T, Nimphius S, Hart NH, Specos C, Sheppard JM, Newton RU. Contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res*. 2014 Sep;28(9):2415–23.
48. Spiteri T, Newton RU, Binetti M, Hart NH, Sheppard JM, Nimphius S. Mechanical Determinants of Faster Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes. *J Strength Cond Res*. 2015 Aug;29(8):2205–14.
49. Rodríguez-Rosell D, Pareja-Blanco F, Aagaard P, González-Badillo JJ. Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2018 Sep;38(5):743–62.
50. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985*. 2002 Oct;93(4):1318–26.
51. Folland JP, Buckthorpe MW, Hannah R. Human capacity for explosive force production: neural and contractile determinants. *Scand J Med Sci Sports*. 2014 Dec;24(6):894–906.
52. Tillin NA, Jimenez-Reyes P, Pain MTG, Folland JP. Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. *Med Sci Sports Exerc*. 2010 Apr;42(4):781–90.
53. Buckthorpe MW, Hannah R, Pain TG, Folland JP. Reliability of neuromuscular measurements during explosive isometric contractions, with special reference to electromyography normalization techniques. *Muscle Nerve*. 2012 Oct;46(4):566–76.
54. Tous-Fajardo J. *Nuevas Tendencias en Fuerza y Musculacion*. Editorial Hispano Europea; 2000. 222 p.

55. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med Auckl NZ*. 2011 Feb 1;41(2):125–46.
56. Marques MC, Saavedra FJ, Abrantes C, Aidar FJ. Associations between rate of force development metrics and throwing velocity in elite team handball players: a short research report. *J Hum Kinet*. 2011 Sep;29A:53–7.
57. Harris G, Stone M, O'BRYANT H, Proulx C, JOHNSON R. Short-Term Performance Effects of High Power, High Force, or Combined Weight-Training Methods. *J Strength Cond Res*. 2000 Feb 1;14.
58. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: impact of load. *J Appl Biomech*. 2008 May;24(2):112–20.
59. Comfort P, Allen M, Graham-Smith P. Comparisons of peak ground reaction force and rate of force development during variations of the power clean. *J Strength Cond Res*. 2011 May;25(5):1235–9.
60. Comfort P, Udall R, Jones PA. The effect of loading on kinematic and kinetic variables during the midhigh clean pull. *J Strength Cond Res*. 2012 May;26(5):1208–14.
61. Faulkner JA. Terminology for contractions of muscles during shortening, while isometric, and during lengthening. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 2003 Aug;95(2):455–9.
62. Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, LaStayo PC. Early application of negative work via eccentric ergometry following anterior cruciate ligament reconstruction: a case report. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006 May;36(5):298–307.
63. Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci Int J Physiol Prod Jointly Int Union Physiol Sci Am Physiol Soc*. 2001 Dec;16:256–61.
64. Roig M, Shadgan B, Reid WD. Eccentric exercise in patients with chronic health conditions: a systematic review. *Physiother Can Physiother Can*. 2008;60(2):146–60.
65. de Hoyo M, Sañudo B, Carrasco L, Domínguez-Cobo S, Mateo-Cortes J, Cadenas-Sánchez MM, et al. Effects of Traditional Versus Horizontal Inertial Flywheel Power Training on Common Sport-Related Tasks. *J Hum Kinet*. 2015 Sep 29;47:155–67.
66. Lundberg TR, García-Gutiérrez MT, Mandić M, Lilja M, Fernandez-Gonzalo R. Regional and muscle-specific adaptations in knee extensor hypertrophy using flywheel versus conventional weight-stack resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab*. 2019 Aug;44(8):827–33.
67. Saez de Villareal E, Calleja-González J, Alcaraz PE, Feito-Blanco J, Ramírez-Campillo R. Positive Effects of Plyometric vs. Eccentric-Overload Training on Performance in Young Male Handball Players. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2023 Aug 8;8(3):113.

68. Tøien T, Pedersen Haglo H, Unhjem R, Hoff J, Wang E. Maximal strength training: the impact of eccentric overload. *J Neurophysiol.* 2018 Dec 1;120(6):2868–76.
69. Dudley GA, Tesch PA, Miller BJ, Buchanan P. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med.* 1991 Jun;62(6):543–50.
70. Hather BM, Tesch PA, Buchanan P, Dudley GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand.* 1991 Oct;143(2):177–85.
71. Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernandez-Gonzalo R, Moreira OC, González-Gallego J, de Paz JA. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2017 Oct;20(10):943–51.
72. Tesch PA, Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR. Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise. *Front Physiol.* 2017;8:241.
73. Komi PV, Kaneko M, Aura O. EMG activity of the leg extensor muscles with special reference to mechanical efficiency in concentric and eccentric exercise. *Int J Sports Med.* 1987 Mar;8 Suppl 1:22–9.
74. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009 Mar;41(3):687–708.
75. Bonde-Petersen F, Knuttgen HG, Henriksson J. Muscle metabolism during exercise with concentric and eccentric contractions. *J Appl Physiol.* 1972 Dec;33(6):792–5.
76. Nuñez Sanchez FJ, Sáez de Villarreal E. Does Flywheel Paradigm Training Improve Muscle Volume and Force? A Meta-Analysis. *J Strength Cond Res.* 2017 Nov;31(11):3177–86.
77. Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med Auckl NZ.* 1989 Apr;7(4):207–34.
78. Farthing JP, Chilibeck PD. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *Eur J Appl Physiol.* 2003 Aug;89(6):578–86.
79. Bobbert MF, Casius LJR. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med Sci Sports Exerc.* 2005 Mar;37(3):440–6.
80. Bridgeman LA, McGuigan MR, Gill ND, Dulson DK. Relationships Between Concentric and Eccentric Strength and Countermovement Jump Performance in Resistance Trained Men. *J Strength Cond Res.* 2018 Jan;32(1):255–60.
81. Sheppard J, Hobson S, Barker M, Taylor KL, Chapman D, McGuigan M, et al. The Effect of Training with Accentuated Eccentric Load Counter-Movement Jumps on Strength and Power Characteristics of High-Performance Volleyball Players. *Int J Sports Sci Coach.* 2008 May 1;

82. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Sep;42(9):1731–44.
83. Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1996 Dec;81(6):2339–46.
84. Pliauga V, Lukonaitiene I, Kamandulis S, Skurvydas A, Sakalauskas R, Scanlan AT, et al. The effect of block and traditional periodization training models on jump and sprint performance in collegiate basketball players. *Biol Sport.* 2018 Dec;35(4):373–82.
85. Behm DG, Anderson KG. The role of instability with resistance training. *J Strength Cond Res.* 2006 Aug;20(3):716–22.
86. Stone M, Plisk S, Collins D. Training principles: evaluation of modes and methods of resistance training--a coaching perspective. *Sports Biomech.* 2002 Jan;1(1):79–103.
87. Augustsson J, Esko A, Thomeé R, Svantesson U. Weight training of the thigh muscles using closed vs. open kinetic chain exercises: a comparison of performance enhancement. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998 Jan;27(1):3–8.
88. Ostenberg A, Roos E, Ekdahl C, Roos H. Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 1998 Oct;8(5 Pt 1):257–64.
89. Anderson K, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol Rev Can Physiol Appl.* 2005 Feb;30(1):33–45.
90. Gentil P, Fisher J, Steele J. A Review of the Acute Effects and Long-Term Adaptations of Single- and Multi-Joint Exercises during Resistance Training. *Sports Med Auckl NZ.* 2017 May;47(5):843–55.
91. Haff G. Roundtable Discussion: Machines Versus Free Weights. *Strength Cond J.* 2000 Dec 1;22.
92. Elliott BC, Wilson GJ, Kerr GK. A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Med Sci Sports Exerc.* 1989 Aug;21(4):450–62.
93. Sanchez-Medina L, Perez CE, Gonzalez-Badillo JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med.* 2010 Feb;31(2):123–9.
94. Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Feb;39(2):340–9.
95. Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ, Wilson GJ, Kraemer WJ, Häkkinen K. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol.* 1997;75(4):333–42.
96. Berger R. Effects of Dynamic and Static Training on Vertical Jumping Ability. *Res Q Am Assoc Health Phys Educ Recreat.* 2013 Mar 17;34:419–24.

97. Keiner M, Kadlubowski B, Sander A, Hartmann H, Wirth K. Effects of 10 Months of Speed, Functional, and Traditional Strength Training on Strength, Linear Sprint, Change of Direction, and Jump Performance in Trained Adolescent Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2022 Aug 1;36(8):2236–46.
98. Loturco I, Pereira LA, Reis VP, Zanetti V, Bishop C, McGuigan MR. Traditional Free-Weight Vs. Variable Resistance Training Applied to Elite Young Soccer Players During a Short Preseason: Effects on Strength, Speed, and Power Performance. *J Strength Cond Res.* 2022 Dec 1;36(12):3432–9.
99. Campos GER, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol.* 2002 Nov;88(1–2):50–60.
100. Lamas L, Aoki MS, Ugrinowitsch C, Campos GER, Regazzini M, Moriscot AS, et al. Expression of genes related to muscle plasticity after strength and power training regimens. *Scand J Med Sci Sports.* 2010 Apr;20(2):216–25.
101. Hoffman JR, Cooper J, Wendell M, Kang J. Comparison of Olympic vs. traditional power lifting training programs in football players. *J Strength Cond Res.* 2004 Feb;18(1):129–35.
102. Chaouachi A, Hammami R, Kaabi S, Chamari K, Drinkwater EJ, Behm DG. Olympic weightlifting and plyometric training with children provides similar or greater performance improvements than traditional resistance training. *J Strength Cond Res.* 2014 Jun;28(6):1483–96.
103. Teo SYM, Newton MJ, Newton RU, Dempsey AR, Fairchild TJ. Comparing the Effectiveness of a Short-Term Vertical Jump vs. Weightlifting Program on Athletic Power Development. *J Strength Cond Res.* 2016 Oct;30(10):2741–8.
104. Otto WH, Coburn JW, Brown LE, Spiering BA. Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength, and body composition. *J Strength Cond Res.* 2012 May;26(5):1199–202.
105. Suchomel T, Comfort P, Lake J. Enhancing the Force–Velocity Profile of Athletes Using Weightlifting Derivatives. *STRENGTH Cond J.* 2017 Feb 1;39:10–20.
106. Morris SJ, Oliver JL, Pedley JS, Haff GG, Lloyd RS. Comparison of Weightlifting, Traditional Resistance Training and Plyometrics on Strength, Power and Speed: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ.* 2022 Jul;52(7):1533–54.
107. Canavan PK, Garrett GE, Armstrong LE. Kinematic and Kinetic Relationships Between an Olympic-Style Lift and the Vertical Jump. *J Strength Cond Res.* 1996;10(2):127.
108. Hori N, Newton RU, Andrews WA, Kawamori N, McGuigan MR, Nosaka K. Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *J Strength Cond Res.* 2008 Mar;22(2):412–8.

109. Winchester JB, McBride JM, Maher MA, Mikat RP, Allen BK, Kline DE, et al. Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression. *J Strength Cond Res.* 2008 Nov;22(6):1728–34.
110. Rodríguez-Rosell D, Franco-Márquez F, Mora-Custodio R, González-Badillo JJ. Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages: *J Strength Cond Res.* 2017 Sep;31(9):2498–508.
111. Cormie P, McCaulley GO, McBride JM. Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Jun;39(6):996–1003.
112. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res.* 2002 Feb;16(1):75–82.
113. de Villarreal ESS, Kellis E, Kraemer WJ, Izquierdo M. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2009 Mar;23(2):495–506.
114. Sáez de Villarreal E, Requena B, Cronin JB. The effects of plyometric training on sprint performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2012 Feb;26(2):575–84.
115. Freitas TT, Martínez-Rodríguez A, Calleja-González J, Alcaraz PE. Short-term adaptations following Complex Training in team-sports: A meta-analysis. *PloS One.* 2017;12(6):e0180223.
116. Freitas TT, Calleja-González J, Carlos-Vivas J, Marín-Cascales E, Alcaraz PE. Short-term optimal load training vs a modified complex training in semi-professional basketball players. *J Sports Sci.* 2019 Feb;37(4):434–42.
117. Franco-Márquez F, Rodríguez-Rosell D, González-Suárez JM, Pareja-Blanco F, Mora-Custodio R, Yañez-García JM, et al. Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *Int J Sports Med.* 2015 Nov;36(11):906–14.
118. Kobal R, Loturco I, Barroso R, Gil S, Cuniyochi R, Ugrinowitsch C, et al. Effects of Different Combinations of Strength, Power, and Plyometric Training on the Physical Performance of Elite Young Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2017 Jun;31(6):1468–76.
119. Bauer P, Uebellacker F, Mitter B, Aigner AJ, Hasenoehrl T, Ristl R, et al. Combining higher-load and lower-load resistance training exercises: A systematic review and meta-analysis of findings from complex training studies. *J Sci Med Sport.* 2019 Jul;22(7):838–51.
120. Fathi A, Hammami R, Moran J, Borji R, Sahli S, Rebai H. Effect of a 16-Week Combined Strength and Plyometric Training Program Followed by a Detraining Period on Athletic Performance in Pubertal Volleyball Players. *J Strength Cond Res.* 2019 Aug;33(8):2117–27.

121. Ebben WP. Complex training: a brief review. *J Sports Sci Med*. 2002 Jun;1(2):42–6.
122. Hodgson M, Docherty D, Robbins D. Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med Auckl NZ*. 2005;35(7):585–95.
123. Docherty D, Hodgson MJ. The application of postactivation potentiation to elite sport. *Int J Sports Physiol Perform*. 2007 Dec;2(4):439–44.
124. Gołaś A, Maszczyk A, Zajac A, Mikołajec K, Stastny P. Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J Hum Kinet*. 2016 Sep 1;52:95–106.
125. Sale DG. Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev*. 2002 Jul;30(3):138–43.
126. Tillin NA, Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med Auckl NZ*. 2009;39(2):147–66.
127. Rodríguez-Rosell D, Torres-Torrelo J, Franco-Márquez F, González-Suárez JM, González-Badillo JJ. Effects of light-load maximal lifting velocity weight training vs. combined weight training and plyometrics on sprint, vertical jump and strength performance in adult soccer players. *J Sci Med Sport*. 2017 Jul;20(7):695–9.
128. Toji H, Kaneko M. Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship. *J Strength Cond Res*. 2004 Nov;18(4):792–5.
129. Abade E, Silva N, Ferreira R, Baptista J, Gonçalves B, Osório S, et al. Effects of Adding Vertical or Horizontal Force-Vector Exercises to In-season General Strength Training on Jumping and Sprinting Performance of Youth Football Players. *J Strength Cond Res*. 2021 Oct 1;35(10):2769–74.
130. Younes-Egana O, Mielgo-Ayuso J, M. Stojanović MD, Bird SP, Calleja-González J. Effectiveness of Eccentric Overload Training in Basketball Players: A Systematic Review. *J Hum Kinet*. 2023 Jul 15;87:243–57.
131. Berg HE, Tesch A. A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviat Space Environ Med*. 1994 Aug;65(8):752–6.
132. Suchomel TJ, Wagle JP, Douglas J, Taber CB, Harden M, Haff GG, et al. Implementing Eccentric Resistance Training-Part 1: A Brief Review of Existing Methods. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2019 Jun 24;4(2):E38.
133. Tous-Fajardo J, Gonzalo-Skok O, Arjol-Serrano JL, Tesch P. Enhancing Change-of-Direction Speed in Soccer Players by Functional Inertial Eccentric Overload and Vibration Training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016 Jan;11(1):66–73.
134. Gonzalo-Skok O, Tous-Fajardo J, Valero-Campo C, Berzosa C, Bataller AV, Arjol-Serrano JL, et al. Eccentric-Overload Training in Team-Sport Functional Performance: Constant Bilateral Vertical Versus Variable Unilateral Multidirectional Movements. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017 Aug;12(7):951–8.



135. Madruga-Parera M, Bishop C, Fort-Vanmeerhaeghe A, Beato M, Gonzalo-Skok O, Romero-Rodríguez D. Effects of 8 Weeks of Isoinertial vs. Cable-Resistance Training on Motor Skills Performance and Interlimb Asymmetries. *J Strength Cond Res.* 2020 Apr 29;
136. Gonzalo-Skok O, Moreno-Azze A, Arjol-Serrano JL, Tous-Fajardo J, Bishop C. A Comparison of 3 Different Unilateral Strength Training Strategies to Enhance Jumping Performance and Decrease Interlimb Asymmetries in Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019 Sep 6;1256–64.
137. Izquierdo M, Häkkinen K, Gonzalez-Badillo JJ, Ibáñez J, Gorostiaga EM. Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol.* 2002 Jul;87(3):264–71.
138. Haugen T, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 May;9(3):432–41.
139. Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2006 Jun;1(2):74–83.
140. Cleather JEG Daniel J. The biomechanical principles underpinning strength and conditioning. In: *Strength and Conditioning for Sports Performance.* Routledge; 2016.
141. Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Beardsley C, McMaster DT, Reyneke JHT, et al. Effects of a Six-Week Hip Thrust vs. Front Squat Resistance Training Program on Performance in Adolescent Males: A Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res.* 2017 Apr;31(4):999–1008.
142. Fitzpatrick DA, Cimadoro G, Cleather DJ. The Magical Horizontal Force Muscle? A Preliminary Study Examining the 'Force-Vector' Theory. *Sports Basel Switz.* 2019 Jan 22;7(2):30.
143. Morin JB. SPRinT Running MeCHaniCS new TeCHnOLOgy , new COncEPTS , new PeRSPeCTiveS. In 2013.
144. Morin JB, Petrakos G, Jiménez-Reyes P, Brown SR, Samozino P, Cross MR. Very-Heavy Sled Training for Improving Horizontal-Force Output in Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017 Jul;12(6):840–4.
145. Ramírez-Campillo R, Gallardo F, Henriquez-Olguín C, Meylan CMP, Martínez C, Álvarez C, et al. Effect of Vertical, Horizontal, and Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2015 Jul;29(7):1784–95.
146. Aztarain-Cardiel K, López-Laval I, Marco-Contreras LA, Sánchez-Sabaté J, Garatachea N, Pareja-Blanco F. Effects of Plyometric Training Direction on Physical Performance in Basketball Players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2023 Feb 1;18(2):135–41.
147. Palmer J, Wundersitz D, Bini R, Kingsley M. Effect of Player Role and Competition Level on Player Demands in Basketball. *Sports Basel Switz.* 2021 Mar 8;9(3):38.

148. Vargas FS lo, Seirul·lo F, Espar X. El Entrenamiento en los deportes de equipo. Mastercede; 2017. 435 p.
149. Junge N, Jørgensen TB, Nybo L. Performance Implications of Force-Vector-Specific Resistance and Plyometric Training: A Systematic Review with Meta-Analysis. Sports Med Auckl NZ. 2023 Aug 18;
150. Moran J, Ramirez-Campillo R, Liew B, Chaabene H, Behm DG, García-Hermoso A, et al. Effects of Vertically and Horizontally Orientated Plyometric Training on Physical Performance: A Meta-analytical Comparison. Sports Med Auckl NZ. 2021 Jan;51(1):65–79.

# JUSTIFICACIÓN



## 2. JUSTIFICACIÓN

El análisis de las demandas metabólicas y mecánicas del baloncesto muestra que las acciones condicionales más determinantes durante un partido de baloncesto son el salto, el *sprint* y el cambio de dirección. Por este motivo, las variables escogidas para evaluar el rendimiento funcional de los jugadores de baloncesto fueron el salto vertical bilateral, el salto vertical unilateral, el salto horizontal unilateral, el salto lateral unilateral, la velocidad lineal en un *sprint* máximo y la velocidad del cambio de dirección con diferentes ángulos de giro. Estas variables no solo evalúan perfectamente el rendimiento funcional del jugador de baloncesto, si no que permiten observar las adaptaciones obtenidas en las diferentes direccionalidades de movimiento manifestadas.

Estas acciones están estrechamente relacionadas con la capacidad del sistema neuromuscular para aplicar la mayor fuerza posible por unidad de tiempo a través del ciclo estiramiento-acortamiento (donde existe tanto fase concéntrica como excéntrica). Este hecho implica que, aunque todas las manifestaciones de la fuerza pueden ser relevantes en algún momento en función del contexto específico del jugador, habrá dos que intervengan en mayor medida en el rendimiento de este tipo de acciones: la RFD y la  $F_{EXC}$ . Por ello, estrategias de entrenamiento como la pliometría, el entrenamiento combinado o la sobrecarga excéntrica, han sido escogidas como métodos de entrenamiento en esta investigación, ya que permiten mejorar las manifestaciones de la fuerza relacionadas con el rendimiento de las acciones determinantes del baloncesto.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que las acciones más determinantes en el rendimiento condicional del jugador de baloncesto implican la predominancia de distintos vectores de fuerza (vertical u horizontal). La literatura científica ha demostrado como aplicar distintas direccionalidades de movimiento durante el entrenamiento de fuerza promueve adaptaciones específicas sobre tareas que tienen una predominancia similar al vector de fuerza entrenado en jugadores de fútbol, rugby y atletismo.

Sin embargo, no está claro su efecto sobre las variables funcionales del rendimiento físico en baloncesto por la inexistencia de estudios relacionados con la temática. Además, la mayoría de los estudios publicados en otras disciplinas colectivas han sido llevados a cabo en jugadores adultos, por lo que la transferencia de estos resultados a jóvenes jugadores tampoco es sólida.

La muestra escogida en esta investigación han sido jugadores de baloncesto en etapas de formación comprendidos en las categorías U14, U16 y U18. El objetivo de escoger esta muestra fue estudiar cómo afecta la inclusión de estrategias de direccionalidad específica de movimiento en el entrenamiento de fuerza a lo largo de toda la etapa formativa del jugador de baloncesto, con el fin de poder aportar unas bases sólidas al entrenamiento de jóvenes deportistas.

En consecuencia, el presente trabajo de investigación pretende analizar el efecto de distintas direccionalidades de aplicación de fuerza durante el entrenamiento pliométrico, combinado y excéntrico sobre variables funcionales del rendimiento físico en jóvenes jugadores de baloncesto.

# **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**





## 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 3.1.1. Hipótesis principal

La inclusión de diferentes direccionalidades de aplicación de fuerza durante los protocolos de entrenamiento pliométrico, excéntrico y combinado de 6-8 semanas de duración, producirán adaptaciones específicas sobre aquellas variables que más similitud tengan con la direccionalidad de movimiento manifestada en la intervención en jóvenes jugadores de baloncesto.

### 3.1.2. Objetivo general

El objetivo general es analizar el efecto de la direccionalidad de aplicación de fuerza a través de distintos métodos de entrenamiento sobre la capacidad de salto, el *sprint* y la velocidad en el cambio de dirección en jóvenes jugadores de baloncesto altamente entrenados.

### 3.1.3. Objetivos específicos

- Comprobar la influencia de diferentes direccionalidades de aplicación de fuerza durante un protocolo de entrenamiento pliométrico, excéntrico y combinado sobre el salto vertical en jóvenes jugadores de baloncesto.
- Analizar el efecto de diferentes direccionalidades de aplicación de fuerza durante un protocolo de entrenamiento pliométrico, excéntrico y combinado sobre el salto horizontal en jóvenes jugadores de baloncesto.
- Evaluar la respuesta de diferentes direccionalidades de aplicación de fuerza durante un protocolo de entrenamiento pliométrico, excéntrico y combinado sobre la velocidad lineal en jóvenes jugadores de baloncesto.
- Observar el impacto de diferentes direccionalidades de aplicación de fuerza durante un protocolo de entrenamiento pliométrico, excéntrico y combinado sobre la velocidad del cambio de dirección en jóvenes jugadores de baloncesto.



# RELACIÓN DE ARTÍCULOS



## 4. RELACIÓN DE ARTÍCULOS

---

Artículo 1. Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players.

**Oliver Gonzalo-Skok <sup>1\*</sup>, Jorge Sánchez-Sabaté <sup>1</sup>, Luis Izquierdo-Lupón <sup>1</sup> & Eduardo Sáez de Villarreal <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Health Sciences, Universidad San Jorge (USJ), Zaragoza, Spain &

<sup>2</sup> Faculty of Sport, Pablo de Olavide University, Seville, Spain

*European Journal of Sport Science*. Editorial: *Taylor & Francis*. 2019  
Apr;19(3):305-314.

DOI: [10.1080/17461391.2018.1502357](https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1502357)

---



## Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players

Oliver Gonzalo-Skok, Jorge Sánchez-Sabaté, Luis Izquierdo-Lupón & Eduardo Sáez de Villarreal

To cite this article: Oliver Gonzalo-Skok, Jorge Sánchez-Sabaté, Luis Izquierdo-Lupón & Eduardo Sáez de Villarreal (2018): Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players, European Journal of Sport Science, DOI: [10.1080/17461391.2018.1502357](https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1502357)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1502357>



Published online: 28 Jul 2018.



Submit your article to this journal [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

ORIGINAL ARTICLE

## Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players

OLIVER GONZALO-SKOK<sup>1</sup>, JORGE SÁNCHEZ-SABATÉ<sup>1</sup>, LUIS IZQUIERDO-LUPÓN<sup>1</sup>, & EDUARDO SÁEZ DE VILLARREAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Health Sciences, Universidad San Jorge (USJ), Zaragoza, Spain & <sup>2</sup>Faculty of Sport, Pablo de Olavide University, Seville, Spain

### Abstract

Plyometric training composed by unilateral exercises with horizontal jumping direction seems to be an effective way to improve physical performance in athletes. The present study aimed to compare the influence of a combined jumping direction and force application (horizontal-unilateral vs. vertical-bilateral) plyometric training on linear sprinting, jumping, change of direction (COD) and dynamic balance in young elite basketball players. Twenty young (U-13 to U-14) male basketball players (age:  $13.2 \pm 0.7$  years, body mass:  $59.5 \pm 12.7$  kg, height:  $172.9 \pm 7.9$  cm) were randomly assigned either to a unilateral-horizontal (UH,  $n = 10$ ) or bilateral-vertical (BV,  $n = 10$ ) plyometric group, twice a week for 6-wk. Both groups performed between 60 and 100 jumps/session. UH executed all jumps unilaterally with horizontal direction, while jumps in the BV were bilaterally with vertical direction. Performance was assessed by a linear sprinting test, vertical and horizontal jumping tests, COD tests (V-cut and 5+5 m with a 180°COD test), an ankle dorsiflexion test and dynamic balance tests (anterior and postero-lateral directions). Within-group differences showed substantial improvements (Effect size (ES):0.31–1.01) in unilateral vertical and horizontal jumping, V-cut test and postero-lateral direction with right leg after both training interventions. Furthermore, UH group also substantially improved (ES:0.33–0.78) all sprinting times and postero-lateral direction with left leg, while BV enhanced anterior direction with left leg (ES:0.25). Between-group analyses showed substantially greater improvements (ES:0.33) in 10-m and V-cut test in UH than in BV. The likely beneficial effect (small ES) achieved in sprinting abilities suggests the combination of unilateral-horizontal jumps to improve such abilities.

**Keywords:** *Assessment, motor control, performance, team sport*

### Highlights

- The force-vector theory is based on training exercises in the same movement direction as the sport-specific movement to achieve a greater transfer effect.
- Some studies suggest that plyometric training composed by unilateral exercises with horizontal force application seems to be an effective way to improve physical performance in athletes, though common plyometric training programs are based on bilateral and vertical exercises.
- Linear and multidirectional sprinting abilities are mainly improved by unilateral-horizontal exercises that are closer to such abilities.

### Introduction

Plyometric training refers to exercises that are designed to improve mechanical impulse, mostly through jumping exercises. Such exercises constitute a natural part of the most important sport movements (i.e. basketball) because of they involve jumping, hopping and skipping (Asadi, Arazi, Young, & Saez

de Villarreal, 2016; Johnson, Salzberg, & Stevenson, 2011; Ramirez-Campillo et al., 2018; Saez de Villarreal, Requena, & Cronin, 2012). As such, to optimize transference to sport, plyometric exercise should reflect the type of the activity implicit in that sport (i.e. basketball), that is, the principle of specificity. In this regard, several studies have found jumping, sprinting and COD improvements when plyometric



exercises are closer to the previous activities (jump, sprint and COD) in basketball players (Asadi et al., 2016). Thus, it is suggested the inclusion of specific plyometric training to improve the most important athletic abilities.

Unilateral training has been included within strength training routines in a professional context. Its inclusion is mainly based on the greater dynamic correspondence between specific unilateral exercises (e.g. similar motor pattern and the applied force) and functional performance and, consequently, to maximize the training effects with respect to bilateral exercises. For example, it has been shown that the inclusion of unilateral vertical-horizontal plyometric exercises (i.e. combined with bilateral exercises or isolated) was more effective to improve functional performance (i.e. jumping, sprinting, COD ability) in young “recreational” soccer players than bilateral plyometric training alone (Ramirez-Campillo et al., 2015). Furthermore, a recent study in highly trained basketball players also reported a greater enhancement in those actions that mostly required applying force unilaterally after an unilateral combined resistance training (i.e. squats + plyometrics) (Gonzalo-Skok et al., 2017). Despite controversy still exists regarding the greater benefit of unilateral training compared to bilateral training (Gonzalo-Skok et al., 2017; Speirs, Bennett, Finn, & Turner, 2016), it seems appropriate to include unilateral exercises within strength training routines.

The importance of applying force in the desired direction (i.e. vertical, horizontal or lateral) has been recently highlighted to reach an optimal movement performance rather than just increasing the ground reaction forces per se (Morin, 2013). Lately, there has been an increase of longitudinal studies supporting the force-vector theory (Contreras et al., 2017; Gonzalo-Skok, Tous-Fajardo, Valero-Campo, et al., 2017; Morin et al., 2017). Such theory is based on using either training exercises in the same force-vector as the sport-specific movement or in the movement direction that you want to improve (i.e. dynamic correspondence), it will be a greater training transfer effect (Contreras et al., 2017; Gonzalo-Skok, Tous-Fajardo, Valero-Campo, et al., 2017; Morin et al., 2017). For example, a vertical squat group showed potentially beneficial effects in vertical jump height, while a hip thrust group substantially improved linear sprinting times in male adolescent athletes (Contreras et al., 2017). Furthermore, greater improvements were found in multidirectional (i.e. horizontal and lateral) force application tests (e.g. lateral and horizontal jumps and change of direction tests) after a variable unilateral multidirectional training, whereas vertical jumping tests were enhanced after a squat training programme in team-

sports athletes (Gonzalo-Skok, Tous-Fajardo, Valero-Campo, et al., 2017). Therefore, it seems that, depending on your goals, you might select a training programme which includes specific force application exercises.

Based on the above-mentioned studies, a plyometric training composed by unilateral exercises with horizontal force application seems to be an effective way to improve physical performance. However, the vast majority of information is about training programmes based on bilateral and vertical exercises. In this regard, to the best of our knowledge, there are no studies comparing such approaches (unilateral-horizontal vs. bilateral-vertical) in team-sports players. Therefore, the main aim of the present study was to compare the influence of a combined jumping direction and force application (vertical and bilateral vs. horizontal and unilateral) plyometric training on linear sprinting, jumping, COD and dynamic balance in young elite basketball players.

## Methods

### *Participants*

Twenty young (U-13 to U-14) highly trained male basketball players (age:  $13.2 \pm 0.7$  years, body mass:  $59.5 \pm 12.7$  kg, height:  $172.9 \pm 7.9$  cm) belonging to an elite basketball club voluntary took part in the present study. Data collection took place in the ninth month of the competitive season after 2 months of preseason period and 7 months of competition. All players participated on average in  $\sim 10$  hours of combined basketball (5 sessions) and strength/technical skills (2 sessions) trainings plus one competitive match per week. At the time of the study, all players were competing at the national level (i.e. Spanish Basketball National League). Furthermore, some players ( $n = 4$ ) were also competing at the international level. Furthermore, the U-14 team achieved the fifth position in the Spanish Basketball Championship played two weeks after finishing the training intervention. Subjects were informed of the experimental risks and both players and their parents signed an informed document prior to the investigation. The present study was approved by the Pablo de Olavide University research ethics committee, and conformed to the recommendations of the Declaration of Helsinki II.

### *Study design and procedure*

Using a controlled study design, players were randomly assigned into two training groups who performed either exclusive unilateral-horizontal (UH;  $n$

= 10) or bilateral-vertical (BV;  $n = 10$ ) plyometric training. Players within each group were matched according to their initial fitness performance. All players were classified in each test (from the best or first to the last). As such, the final classification was compounded by the total number of points achieved by each player in all tests and, consequently, they were ordered by their initial fitness level (pre-test). Tests were performed on an indoor basketball court 1 week before training and 1 week following the training period. Tests included a 25-m running sprint test (with a 5 and 10-m split time), a bilateral (CMJ), left (CMJ<sub>L</sub>) and right (CMJ<sub>R</sub>) countermovement jump test, a unilateral horizontal left (HJ<sub>L</sub>) and right (HJ<sub>R</sub>) test, a multiple COD test (V-cut test), a 10-m sprint time (5-m + 5-m) with one 180°-COD performed both right (180°-CODR) and left (180°-CODL) leg test, an ankle dorsiflexion test and a modified star excursion balance test (anterior and posterolateral directions). Players were accustomed with the exercise procedures prior to the commencement of each test. They were asked not to perform intense exercise on the day prior to a test and asked not to consume their last meal within 3 hours before the scheduled test time. Furthermore, players were instructed to maintain their usual dietary habits during the whole investigation.

#### Training intervention

Participants performed two plyometric training sessions per week (Tuesday and Thursday), prior to the commencement of the technical-tactical basketball training, in addition to their normal training for 6 consecutive weeks. Players carried out a total of 12 training sessions in each form of training (UH and BV). Every training session was conducted and supervised by two experienced researchers and had a duration between 35 and 45 min. The training volume was matched in both groups performing 60 jumps/session during weeks 1 and 2, 80 jumps/session during weeks 3 and 4 and 100 jumps/session in weeks 5 and 6. One minute of passive recovery was provided between sets. Both training programmes are shown in Tables I and II. Training load was quantified through the rating of perceived exertion (RPE) of each session. Each subject's session RPE was collected 30 min after each training session using the Borg scale-10, with which they were previously familiarized.

#### Physical fitness tests

**Speed tests.** Running speed was evaluated by a 25-m sprint time (standing start) with 5 and 10-m split

Table I. Bilateral-vertical training programme

| Week | Exercises           | Sets × Repetitions |
|------|---------------------|--------------------|
| 1    | Drop Jump 20 cm     | 3 × 5              |
|      | SJ with arms swing  | 2 × 5              |
|      | CMJ with arms swing | 2 × 5              |
|      | Tuck Jump           | 5 × 2              |
|      | Hurdle jumps        | 3 × 5              |
| 2    | Drop Jump 20 cm     | 3 × 5              |
|      | SJ with arms swing  | 2 × 5              |
|      | CMJ with arms swing | 2 × 5              |
|      | Tuck Jump           | 5 × 2              |
|      | Hurdle jumps        | 3 × 5              |
| 3    | Drop Jump 20 cm     | 4 × 5              |
|      | SJ with arms swing  | 3 × 5              |
|      | CMJ with arms swing | 3 × 5              |
|      | Tuck Jump           | 5 × 2              |
|      | Hurdle jumps        | 4 × 5              |
| 4    | Drop Jump 20 cm     | 4 × 5              |
|      | SJ with arms swing  | 3 × 5              |
|      | CMJ with arms swing | 3 × 5              |
|      | Tuck Jump           | 5 × 2              |
|      | Hurdle jumps        | 4 × 5              |
| 5    | Drop Jump 20 cm     | 4 × 5              |
|      | SJ with arms swing  | 4 × 5              |
|      | CMJ with arms swing | 4 × 5              |
|      | Tuck Jump           | 5 × 4              |
|      | Hurdle jumps        | 4 × 5              |
| 6    | Drop Jump 20 cm     | 4 × 5              |
|      | SJ with arms swing  | 4 × 5              |
|      | CMJ with arms swing | 4 × 5              |
|      | Tuck Jump           | 5 × 4              |
|      | Hurdle jumps        | 4 × 5              |

Notes: SQ: Squat Jump; CMJ: Countermovement Jump.

times. The front foot was placed 0.5 m before the first timing gate. Time was recorded with photoelectric cells (*Microgate, Bolzano, Italy*). The 25-m sprint was performed two times, separated by at least 3 min of passive recovery. The best time was considered for subsequent analysis. Intraclass correlation coefficient (ICC) was between 0.73 and 0.88, whereas coefficient of variation (CV) was between 1.6% and 2.9%.

**Countermovement jump.** Jump height was assessed using vertical CMJ (cm) with flight time measured by an Optojump (*Microgate, Bolzano, Italy*). Each trial was validated by a visual inspection to ensure that each landing was without any leg flexion, and players were instructed to maintain their hands on their hips during CMJ. The depth of the CMJ was self-selected. Each test was performed three times, separated by 45 s of passive recovery, and the best jump was recorded. ICC was 0.94 (CL90%: 0.80; 0.99), whereas CV was 3.3% (CL90%: 2.2; 3.9).

**Unilateral countermovement jump test.** Each subject started by standing solely on the designated leg, maintaining their hands on their hips during unilateral CMJ and the alternate leg flexed to 90° at the hip and knee. Players were asked to jump as high as possible and to

Table II. Unilateral-horizontal training programme

| Week | Exercises        | Sets × Repetitions |
|------|------------------|--------------------|
| 1    | Drop Jump 10 cm  | 3 × 5              |
|      | SLJ              | 2 × 5              |
|      | SLJ without CMJ  | 2 × 5              |
|      | Unilateral jumps | 5 × 2              |
|      | Triple jumps     | 3 × 5              |
| 2    | Drop Jump 10 cm  | 3 × 5              |
|      | SLJ              | 2 × 5              |
|      | SLJ without CMJ  | 2 × 5              |
|      | Unilateral jumps | 5 × 2              |
|      | Triple jumps     | 3 × 5              |
| 3    | Drop Jump 10 cm  | 4 × 5              |
|      | SLJ              | 3 × 5              |
|      | SLJ without CMJ  | 3 × 5              |
|      | Unilateral jumps | 5 × 2              |
|      | Triple jumps     | 4 × 5              |
| 4    | Drop Jump 10 cm  | 4 × 5              |
|      | SLJ              | 3 × 5              |
|      | SLJ without CMJ  | 3 × 5              |
|      | Unilateral jumps | 5 × 2              |
|      | Triple jumps     | 4 × 5              |
| 5    | Drop Jump 10 cm  | 4 × 5              |
|      | SLJ              | 4 × 5              |
|      | SLJ without CMJ  | 4 × 5              |
|      | Unilateral jumps | 5 × 4              |
|      | Triple jumps     | 4 × 5              |
| 6    | Drop Jump 10 cm  | 4 × 5              |
|      | SLJ              | 4 × 5              |
|      | SLJ without CMJ  | 4 × 5              |
|      | Unilateral jumps | 5 × 4              |
|      | Triple jumps     | 4 × 5              |

Notes: SLJ: Standing Long Jump; CMJ: Countermovement Jump. The volume corresponds to the number of jumps performed with each leg.

land on the assessed leg (*Optojump, Microgate, Bolzano, Italy*). Leg swing of the alternate leg was not allowed. Failure to maintain proper technique resulted in an invalid jump (i.e. hands on hips, 90° flexion and leg swing). Each test was performed twice, separated by 45 s of passive recovery, and the best jump was recorded and used for analysis. The variables used for analyses were: 1-legged left CMJ (CMJ<sub>L</sub>) and 1-legged right CMJ (CMJ<sub>R</sub>). ICC was 0.96 (CL90%: 0.93; 0.98) and 0.91 (CL90%: 0.85; 0.95) and CV was 4.2% (CL90%: 3.5; 9.3) and 4.8% (CL90%: 4.2; 5.6) for CMJ<sub>R</sub> and CMJ<sub>L</sub>, respectively.

*Unilateral horizontal jump (HJ) test.* Unilateral horizontal jump test was measured using a standard measuring tape. Each subject standing with the toes of the designated leg positioned just behind a starting line (marked with tape), hands placed behind the back and the alternate leg flexed to 90° at the hip and knee. When ready, each subject flexed then rapidly extended the assessed leg, jumping as far as possible (forward distance), and landing on both feet simultaneously. The point of the shoe closest to the starting line upon landing was used to determine

the distance jumped. Leg swing of the alternate leg was not allowed. Failure to maintain proper technique resulted in an invalid jump (i.e. hands behind back, 90° flexion and leg swing). Each test (left and right) was performed twice, separated by at least 45 seconds of passive recovery, and the best jump was recorded and used for analysis. The variables used in analyses were: 1-legged left HJ (HJ<sub>L</sub>) and 1-legged right HJ (HJ<sub>R</sub>). ICC was 0.86 (CL90%: 0.77; 0.92) and 0.86 (CL90%: 0.77; 0.92) and CV was 3.8% (CL90%: 3.2; 4.8) and 3.7% (CL90%: 3.1; 4.6) for HJ<sub>R</sub> and HJ<sub>L</sub>, respectively.

*V-cut test.* In the V-cut test, players performed a 25-m sprint with four CODs of 45° 5-m each (Gonzalo-Skok, Tous-Fajardo, et al., 2015). The front foot was placed 0.5-m before the first timing gate (*Witty, Microgate, Bolzano, Italy*). There were marks on the floor and cones, so subjects knew when to change of direction. For the trial to be valid, players had to pass the line, placed on the floor, with one foot completely at every turn. If the trial was considered a failed attempt, a new trial was allowed. The distance between each pair of cones was 0.7-m. Players performed two trials separated by at least 3 min. Time in the fastest trial was recorded. ICC was 0.92 (CL90%: 0.87; 0.95), whereas CV was 1.4% (CL90%: 1.2; 1.7).

*180° Change of direction test (180°-COD).* A 10-m sprint test was performed. The front foot was placed 0.5-m before the first timing gate (*Witty, Microgate, Bolzano, Italy*). Each player sprinted from the start/finish line, completely crossed the 5-m line with either right or left foot, and turned 180° to sprint back to the start/finish line. Players executed two valid trials with each foot, separated by at least two minutes, with the fastest retained for analysis. The variables used in analyses were COD 180° with left (180°-CODL) and right leg (180°-CODR). ICC was 0.85 (CL90%: 0.75; 0.92) and 0.78 (CL90%: 0.62; 0.87) and CV was 1.7% (CL90%: 1.4; 2.1) and 2.1% (CL90%: 1.8; 2.7) for 180°-CODR and 180°-CODL, respectively.

*Weight-bearing dorsiflexion test.* Ankle dorsiflexion was evaluated through the LegMotion system (*Leg-Motion, your Motion, Albacete, Spain*) and the test is described elsewhere (Gonzalo-Skok, Serna, Rhea, & Marin, 2015). Three trials were allowed with each ankle (i.e. left and right) with 10 s of passive recovery between trials. The third value in each ankle was selected to subsequent analysis of weight-bearing dorsiflexion (WB-DF). ICC was 0.97 (CL90%: 0.93; 0.99) and 0.99 (CL90%: 0.97; 1.00) and CV was 6.6% (CL90%: 5.0; 11.8) and 7.9% (CL90%: 6.0; 11.7) for WB-DF with right leg and WB-DF with left leg, respectively.

*Modified star excursion balance test.* Dynamic balance was assessed by using the OctoBalance

device (*OctoBalance, Check your MOTion, Albacete, Spain*), a modified version of the SEBT, which analysed two lower limb excursion directions: anterior (SEBT-A) and posterolateral (SEBT-PL). The test is described elsewhere (Gonzalo-Skok, Serna, et al., 2015). Three trials were allowed with each leg with 10 s of passive recovery between trials. The mean result of the three trials in each leg was selected for subsequent analysis. ICC was between 0.85 and 0.97, whereas CV was between 2.1% and 3.3%.

#### *Statistical analyses*

Data are presented as mean  $\pm$  SD. A Shapiro-Wilk test was used to analyse the normally distributed data. At pre-test, between-group comparisons (Student *t*-test) were done to detect significant differences in any variable. All data were first log-transformed to reduce bias arising from non-uniformity error. The standardized difference or effect size (ES, 90% confidence limit [90%CL]) in the selected variables was calculated using the pooled pre-training SD. Threshold values for Cohen ES statistics were  $> 0.2$  (small),  $> 0.6$  (moderate), and  $> 1.2$  (large) (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). For within/between-group comparisons, the chances that the differences in performance were better/greater (i.e. greater than the smallest worthwhile change, SWC [0.2 multiplied by the between-subject standard deviation, based on Cohen's *d* principle]), similar or worse/smaller were calculated. Furthermore, an ANCOVA was conducted for between-group comparisons using the pre-test as a covariable to avoid the possible differences at pre-test. Quantitative chances (QC) of beneficial/better or detrimental/poorer effect were assessed qualitatively as follows:  $< 1\%$ , almost certainly not; 1–5%, very unlikely; 5–25%, unlikely; 25–75%, possible; 75–95%, likely; 95–99%, very likely; and  $> 99\%$ , almost certain. If the chance of having beneficial/better or detrimental/poorer performances was both  $> 5\%$ , the true difference was assessed as unclear (Hopkins et al., 2009). The Pearson product moment correlation coefficient was used to determine the relationship between different variables. The following criteria were adopted for interpreting the magnitude of correlation (*r*) between tests measures:  $\leq 0.1$ , trivial;  $> 0.1$ –0.3, small;  $> 0.3$ –0.5, moderate;  $> 0.5$ –0.7, large;  $> 0.7$ –0.9, very large; and  $> 0.9$ –1.0, almost perfect (Hopkins et al., 2009). If the 90%CL overlapped small positive and negative values, the magnitude of the correlation was deemed unclear; otherwise, the magnitude was deemed to be the observed magnitude (Hopkins et al., 2009).

## **Results**

### *Participants*

Only players who participated in  $> 85\%$  of all training sessions were included in the final analyses. Consequently, 2 of the 20 players were excluded for various reasons. None of the players got injured during the plyometric training sessions. As a result, 18 players (age:  $13.3 \pm 0.7$  years, body mass:  $59.3 \pm 12.5$  kg, height:  $172.4 \pm 7.5$  cm) were included in the final analyses. The final sample size for each training group was  $n = 9$  (age:  $13.2 \pm 0.5$  years, body mass:  $59.6 \pm 11.7$  kg, height:  $171.7 \pm 7.2$  cm) for UH and  $n = 9$  (age:  $13.3 \pm 0.6$  years, body mass:  $59.1 \pm 12.8$  kg, height:  $172.8 \pm 7.9$  cm) for BV. In spite of dropouts, no significant differences were found between-groups at baseline.

### *Within-group changes (pre-post differences)*

Results from within group changes are presented in Table III. Substantial performance improvement was found in CMJ<sub>L</sub>, CMJ<sub>R</sub>, HJ<sub>L</sub>, HJ<sub>R</sub>, V-cut test and SEBT-PL with right leg (SEBT-PL<sub>R</sub>) after both trainings interventions (UH and BV). Furthermore, UH group also substantially improved all sprinting times (5, 10 and 25-m) and SEBT-PL with left leg (SEBT-PL<sub>L</sub>), while BV enhanced SEBT-A with left leg (SEBT-A<sub>L</sub>).

### *Between-group changes (differences between unilateral-horizontal group versus bilateral-vertical group)*

Results from the between-group analysis are illustrated in Figure 1. The improvements in 10-m (2.0% [CL90%: 0.1; 3.8]; QC = 77/23/1%) and V-cut test (1.7% [CL90%: -0.4; 3.7]; QC = 76/23/2%) were substantially greater in UH than in BV. A possibly performance improvement in SEBT-A<sub>L</sub> (3.7% [CL90%: -0.6; 7.7]; QC = 68/31/1%) was also found in BV compared to UH.

### *Relationships between relative performance improvements*

When all data were pooled, the relative improvements of CMJ and HJ<sub>L</sub> ( $r = 0.5$ , CL90%: 0.08; 0.73) and CMJ<sub>L</sub> ( $r = 0.56$ , CL90%: 0.21; 0.79) were substantially correlated. Also, the relationship between the enhancement in HJ<sub>L</sub> and 5-m ( $r = -0.66$ , CL90%: 0.36; 0.84) and 180°-CODL ( $r = -0.56$ , CL90%: 0.21; 0.79) was substantial. In the same line, HJ<sub>R</sub> improvement was substantially correlated with 180°-CODR improvement ( $r = -0.68$ , CL90%: 0.39; 0.85). Finally, a

Table III. Changes in performance after a bilateral vertical (BV,  $n = 9$ ) and an unilateral horizontal (UH,  $n = 9$ ) plyometric training

|                           | Vertical ( $n = 9$ ) |              |                   |                     |          |                     | Horizontal ( $n = 9$ ) |              |                  |                     |           |                  |
|---------------------------|----------------------|--------------|-------------------|---------------------|----------|---------------------|------------------------|--------------|------------------|---------------------|-----------|------------------|
|                           | Pre-test             | Post-test    | % (CL90%)         | ES (CL90%)          | Chances  | Outcome             | Pre-test               | Post-test    | % (CL90%)        | ES (CL90%)          | Chances   | Outcome          |
| 5-m (s)                   | 1.14 ± 0.08          | 1.11 ± 0.06  | 2.2 (-0.2; 4.6)   | 0.28 (-0.02; 0.58)  | 68/31/1% | Possibly            | 1.13 ± 0.07            | 1.07 ± 0.05  | 4.9 (2.9; 6.9)   | 0.78 (0.45; 1.11)   | 99/1/0%   | Almost Certain   |
| 10-m (s)                  | 1.91 ± 0.10          | 1.90 ± 0.10  | 0.8 (0.0; 1.6)    | 0.13 (0.01; 0.26)   | 18/82/0% | Likely trivial      | 1.92 ± 0.08            | 1.86 ± 0.06  | 3.4 (2.0; 4.8)   | 0.77 (0.45; 1.1)    | 99/1/0%   | Almost Certain   |
| 25-m (s)                  | 3.99 ± 0.22          | 3.96 ± 0.21  | 0.8 (0.0; 1.7)    | 0.14 (0.00; 0.28)   | 23/77/0% | Likely trivial      | 4.02 ± 0.20            | 3.95 ± 0.19  | 1.6 (1.0; 2.3)   | 0.30 (0.17; 0.42)   | 91/9/0%   | Likely           |
| CMJ (cm)                  | 32.5 ± 5.1           | 33.4 ± 4.3   | 3.1 (0.2; 6.1)    | 0.18 (0.01; 0.34)   | 41/59/0% | Possibly            | 31.6 ± 4.2             | 33.0 ± 2.8   | 5.2 (0.9; 9.7)   | 0.34 (0.06; 0.61)   | 81/19/0%  | Likely           |
| CMJ <sub>L</sub> (cm)     | 12.4 ± 3.6           | 14.1 ± 3.4   | 16.2 (6.8; 26.5)  | 0.44 (0.19; 0.69)   | 94/5/0%  | Likely              | 12.9 ± 3.1             | 14.9 ± 1.9   | 18.2 (7.9; 29.6) | 0.61 (0.28; 0.95)   | 97/2/0%   | Very Likely      |
| CMJ <sub>R</sub> (cm)     | 12.3 ± 2.4           | 14.6 ± 3.1   | 18.4 (10.5; 26.8) | 0.79 (0.47; 1.12)   | 100/0/0% | Almost Certainly    | 12.5 ± 3.0             | 14.1 ± 2.9   | 14.2 (6.9; 21.9) | 0.50 (0.25; 0.75)   | 97/3/0%   | Very Likely      |
| HJ <sub>L</sub> (cm)      | 141.0 ± 24.9         | 152.8 ± 16.5 | 9.3 (2.5; 16.6)   | 0.45 (0.13; 0.78)   | 91/9/0%  | Likely              | 147.0 ± 22.5           | 159.0 ± 21.1 | 8.4 (4.6; 12.3)  | 0.48 (0.27; 0.69)   | 98/2/0%   | Very Likely      |
| HJ <sub>R</sub> (cm)      | 143.2 ± 21.7         | 155.6 ± 17.9 | 9.1 (3.9; 14.6)   | 0.52 (0.23; 0.82)   | 96/4/0%  | Very Likely         | 146.9 ± 19.0           | 153.2 ± 16.6 | 4.5 (1.4; 7.8)   | 0.31 (0.10; 0.52)   | 81/18/0%  | Likely           |
| V-cut (s)                 | 7.37 ± 0.41          | 7.21 ± 0.40  | 2.1 (0.8; 3.4)    | 0.35 (0.13; 0.57)   | 88/12/0% | Likely              | 7.25 ± 0.22            | 7.01 ± 0.19  | 3.4 (2.4; 4.3)   | 1.01 (0.73; 1.30)   | 100/0/0%  | Almost Certain   |
| COD180 (s)                | 2.79 ± 0.17          | 2.77 ± 0.16  | 0.6 (-0.1; 1.3)   | 0.09 (-0.01; 0.19)  | 4/96/0%  | Very Likely trivial | 2.72 ± 0.05            | 2.72 ± 0.07  | 0.1 (-0.8; 0.9)  | 0.03 (-0.37; 0.44)  | 23/61/16% | Unclear          |
| WB-DF <sub>L</sub> (cm)   | 9.1 ± 2.7            | 9.6 ± 2.7    | 3.5 (-2.5; 9.9)   | 0.10 (-0.08; 0.28)  | 17/82/1% | Likely trivial      | 10.5 ± 2.4             | 10.4 ± 4.2   | -0.4 (-1.7; 0.9) | -0.15 (-0.64; 0.35) | 12/46/42% | Unclear          |
| WB-DF <sub>R</sub> (cm)   | 10.1 ± 2.4           | 10.0 ± 1.7   | -1.2 (-8.7; 7.0)  | -0.04 (-0.32; 0.24) | 7/77/16% | Unclear             | 10.0 ± 2.9             | 10.6 ± 3.9   | 0.2 (-1.2; 1.5)  | 0.05 (-0.37; 0.47)  | 26/59/15% | Unclear          |
| SEBT-A <sub>L</sub> (cm)  | 53.4 ± 6.3           | 56.1 ± 6.9   | 5.2 (1.4; 9.1)    | 0.40 (0.11; 0.69)   | 88/11/0% | Likely              | 55.9 ± 6.4             | 56.2 ± 6.8   | 1.3 (-1.4; 4.2)  | 0.10 (-0.11; 0.31)  | 20/79/1%  | Likely trivial   |
| SEBT-A <sub>R</sub> (cm)  | 54.3 ± 5.2           | 55.6 ± 6.8   | 2.5 (-0.4; 5.6)   | 0.24 (-0.04; 0.52)  | 60/39/1% | Possibly            | 53.7 ± 5.7             | 54.5 ± 7.3   | 2.4 (-1.2; 6.1)  | 0.19 (-0.10; 0.47)  | 47/51/2%  | Possibly trivial |
| SEBT-PL <sub>L</sub> (cm) | 69.3 ± 7.6           | 71.8 ± 7.3   | 3.1 (-0.8; 7.2)   | 0.25 (-0.07; 0.58)  | 62/37/2% | Possibly            | 72.8 ± 8.4             | 74.9 ± 7.4   | 4.4 (0.9; 8.1)   | 0.33 (0.06; 0.59)   | 80/20/0%  | Likely           |
| SEBT-PL <sub>R</sub> (cm) | 68.0 ± 7.8           | 72.9 ± 9.7   | 5.9 (0.1; 12.0)   | 0.45 (0.01; 0.90)   | 84/15/1% | Likely              | 72.3 ± 11.9            | 78.2 ± 11.6  | 8.3 (-2.8; 20.8) | 0.42 (-0.15; 0.99)  | 75/21/4%  | Likely           |

Notes: 5-m: 5 metre sprinting time; 10-m: 10 metre sprinting time; 25-m: 25 metre sprinting time; CMJ: bilateral countermovement jump performance; CMJ<sub>L</sub>: vertical jump with left leg; CMJ<sub>R</sub>: vertical jump with right leg; HJ<sub>L</sub>: horizontal jump with left leg; HJ<sub>R</sub>: horizontal jump with right leg; V-cut: 25-m sprint with 4 changes of direction of 45°; COD180: mean time between 10 metre sprint with a 180° change of direction to the left and right; WB-DF<sub>L</sub>: weight-bearing dorsiflexion with left ankle; WB-DF<sub>R</sub>: weight-bearing dorsiflexion with right ankle; SEBT-A<sub>L</sub>: star excursion balance test in the left anterior direction; SEBT-A<sub>R</sub>: star excursion balance test in the right anterior direction; SEBT-PL<sub>L</sub>: star excursion balance test in the left posterior-lateral direction; SEBT-PL<sub>R</sub>: star excursion balance test in the right posterior-lateral direction CL: confidence limit. All results are presented in the same direction, that is, a positive change is considered as an improvement, while a negative change as an impairment.

## Bilateral-Vertical compared to Unilateral-Horizontal plyometric training

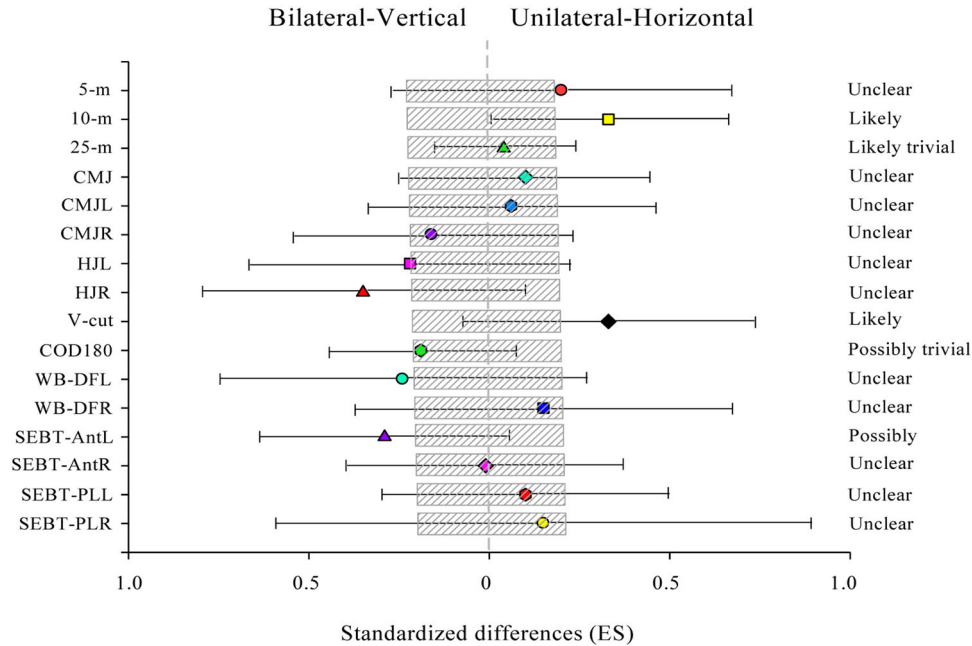


Figure 1. Efficiency of the unilateral-horizontal (UH) compared to bilateral-vertical (BV) plyometric training programme to improve 5, 10 and 25-m sprint time, countermovement jump bilateral (CMJ), left (CMJ<sub>L</sub>) and right (CMJ<sub>R</sub>) performance, horizontal jump with left (HJ<sub>L</sub>) and right (HJ<sub>R</sub>) performance, multiple change of direction (V-cut test), change of direction of 180° (COD180), weight-bearing dorsiflexion range of motion with left (WB-DF<sub>L</sub>) and right (WB-DF<sub>R</sub>) ankle and the distance in the star excursion balance test in the anterior direction with left (SEBT-A<sub>L</sub>) and right (SEBT-A<sub>R</sub>) leg and in the posterior-lateral direction with left (SEBT-PL<sub>L</sub>) and right (SEBT-PL<sub>R</sub>) leg (bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence limits). Trivial areas were the smallest worthwhile change (SWC) (see methods).

substantial correlation was found between the improvements in 25-m and the V-cut test ( $r = 0.52$ , CL90%: 0.17; 0.77).

## Discussion

The aim of the present study was to compare the influence of a combined jumping direction and force application (vertical and bilateral vs. horizontal and unilateral) plyometric training programme on linear sprinting, jumping, COD and dynamic balance in young elite basketball players. The main findings of the present study were (1) the unilateral-horizontal training group achieved likely improvements (small ES) in sprinting abilities (10-m and multiple COD test) in comparison to the bilateral-vertical group, and (2) similar jumping and dynamic balance enhancements were established in both groups.

Vertical jump is a frequent action performed by basketball players as part of defensive (e.g. blocking, rebounding, and stealing) and offensive (e.g. passing, rebounding, and shooting) maneuvers during training and competition (Ziv & Lidor, 2010). In this study, significant CMJ (ES = 0.61–

0.79) and horizontal jump (ES = 0.31–0.52) improvements were observed between baseline and post-test in both groups. These improvements concur with those of previous studies (Khlifa et al., 2010; Matavulj, Kukulj, Ugarkovic, Tihanyi, & Jaric, 2001; Ziv & Lidor, 2010), showing that different oriented plyometric training exercises (horizontal, vertical, combined) can significantly increase vertical jump performance. As both vertical and horizontal jumping ability were substantially improved in both groups with even greater improvements in BV in unilateral horizontal jumps and, in the same line, in UH group in bilateral CMJ performance, it seems that jumping improvements might be related from the change in the level of neuromuscular activation (neural factors) and motor coordination, in response to specific plyometric training rather than the combination of jumping direction and force application, at least in the current cohort of young basketball players. Furthermore, the relationship between vertical and horizontal jumping improvements also support this statement. However, previous studies in other sports have also shown no improvements in the vertical jump after horizontal or vertical-orientation training when different contraction speeds were used in the training (Gorostiaga et al., 2004;

Mujika, Santisteban, & Castagna, 2009). Between-studies differences might be attributed to several reasons: differences in the length of the training programme (only 6 weeks, 12 sessions) and by the higher training loads and volumes used in the studies; the specificity of the training (unilateral and bilateral) and the athletic ability; the speed of movement rather than the resistance or load was more important and positively affected jumping performance of young basketball players; the players were young and not specialists in plyometric and strength training in contrast to the greater training experience and initial training status of players in previous research; the differences in basketball players' training history (i.e. with or without systematic strength and power-oriented training); and the competitive level or the procedures used to measure vertical jumping performance.

The results of this investigation suggested that unilateral-horizontal oriented plyometric training can improve sprinting performance (5 and 10-m) ( $ES = 0.77-0.78$ ). Several studies have suggested that plyometric training may enhance sprinting ability, because of the use of stretch-shortening cycles during plyometric exercises has been shown to have a significant relationship to sprinting times (de Villarreal, Gonzalez-Badillo, & Izquierdo, 2008). These findings are in line with previous studies that showed as a plyometric intervention programme resulted in sprinting improvements (de Villarreal et al., 2008; Ronnestad, Kvamme, Sunde, & Raastad, 2008). Even though our effective plyometric training protocol in linear sprinting was compounded by horizontal (unilateral) drills, while above-mentioned studies used depth jumps, it did not result in a sprinting performance difference. In contrast to the results of the present study, Reymont et al. (Reymont, Bones, Lundquist, Dallak, & Janot, 2007) found that plyometric training could not induce significant reductions in 40-yard dash times. The reasons for this difference might be due to a very low frequency, volume and training period. The present research suggests significant improvements in 5 and 10-m sprint time after 6 weeks of the unilateral-horizontal plyometric intervention. This suggestion is also supported through a substantial relationship between horizontal jumping and 5-m improvements. It seems that the combination of unilateral-horizontal jumps might be the responsible to achieve the linear sprinting ability improvement through a greater dynamic correspondence with sprinting motor pattern in comparison to bilateral-vertical jumps. Therefore, these results might support the combination of specific jumping direction and force application simultaneously to improve linear sprinting ability.

The basic movement patterns in basketball also require high levels of COD (Gonzalo-Skok, Tous-Fajardo, et al., 2015). Because an earlier study (Little & Williams, 2005) showed that COD and acceleration are independent qualities, it was necessary to assess them with specific testing. Previous studies in basketball players have used different COD tests distances (Miller, Herniman, Ricard, Cheatham, & Michael, 2006). However, the V-cut test seemed to be the most relevant to assess the specific quality of COD in basketball because of the high frequency of short high-intensity sprints during a game and the specificity of dribbling (Gonzalo-Skok, Tous-Fajardo, et al., 2015). The findings of the present study are positive effects of in-season plyometric training on COD performance ( $ES = 0.35-1.01$ ) in basketball players. The results found in the unilateral-horizontal group are in line with those provided in a recent meta-analysis showing a practically relevant effect an  $ES$  of 0.96 (Asadi et al., 2016). However, the results achieved after the bilateral-vertical training were considerably lower ( $ES = 0.35$ ) than in the other group. Between-studies differences might be due to the exercises performed during the intervention, supporting the importance of applying the force in the desired direction. On the other hand, 180°-COD was similarly improved (trivial results) in both groups. It might be possible that the between-tests biomechanical differences (distance covered, COD angles, number of CODs) are the key factors to show different results. There is a significant relationship between linear sprinting and 45° COD (V-cut test) as this COD does not require strong braking and propulsion forces, so that the determinants of these two protocols remain quite similar (Buchheit, Haydar, & Ahmaidi, 2012). Conversely, when compared linear sprinting or 45° with wider angles (90° to 180°), the wider angles require the players to adapt sideways leaning posture in an effort to apply enough lateral force to the ground to successfully change direction at high speed (Buchheit et al., 2012). Thus, as in the linear sprinting ability, it seems that the force-vector is a key factor to reach the desired performance adaptations.

There is a lack of information about the influence of plyometrics over ankle dorsiflexion range of motion (ROM) and dynamic balance. In this regard, to the best of our knowledge, there is only one study that has focused on the effects of plyometric training on dynamic balance (Asadi, Saez de Villarreal, & Arazi, 2015). The results found in this study are somehow different than those presented in ours ( $ES = A: 0.95, PL: 0.24$  vs.  $A: 0.10$  to  $0.40, PL: 0.25$  to  $0.45$ ). Between-studies differences might be due to the moment of the season (pre-season vs. competitive season) or players' level

(amateur-national vs. national-international). Furthermore, despite no between-group differences are presented, the bilateral-vertical training seems to be more effective in the anterior direction, while the posteromedial direction might be much improved and more clearly than the anterior direction through unilateral-horizontal exercises. One of the reasons could be based on a greater peak biceps femoris electromyographical (EMG) activity during unilateral horizontal jumps compared to bilateral vertical jumps, while the contrary is shown in the vastus lateralis upward phase (Murtagh et al., 2018). In this regard, a greater biceps femoris and vastus lateralis EMG might help to achieve a greater posteromedial and anterior distance in the SEBT, respectively and, thus, it justifies these between-groups differences. On the other hand, there is no information about the impact of plyometrics on WB-DF. Therefore, comparisons are not possible. However, the current results show as plyometric training seems to not be an effective tool to improve the ankle dorsiflexion ROM. Therefore, as such limited ROM has been linked with several injuries such as patellar tendinopathy (Backman & Danielson, 2011), ankle sprains (O'Connor, Bleakley, Tully, & McDonough, 2013) and anterior cruciate ligament (Amraee, Alizadeh, Minoonejhad, Razi, & Amraee, 2017), other strategies which have shown positive benefits such as calf muscles static stretching with a strap (Jeon, Kwon, Yi, Cynn, & Hwang, 2015) should be used.

Research findings on the optimal training methodology to enhance basketball important athletic abilities (i.e. sprinting, jumping and changing of directions) have shown conflicting results. Some studies suggest that plyometric training composed by unilateral exercises with horizontal force application seems to be an effective way to improve physical performance in athletes. The present study concluded that the influence of jumping direction and force application plyometric training seems to be crucial to develop specific adaptations in basketball players. While jumping ability is enhanced through both approaches, linear and multidirectional sprinting abilities are mainly improved by unilateral-horizontal exercises that are closer to such abilities. Based on the current results, we suggest to include rotational or lateral plyometric exercises when aimed to improve actions that imply wide COD angles (90° to 180°). Moreover, for young basketball players who do not have previous experience with periodized plyometric training, a general adaptation phase must be scheduled to ensure proper movement technique and safety. Coaches should consider progressive increases in the load and ensure that exercises are performed on soft landing surfaces, reducing the probability of player injury.

## Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

## References

- Amraee, D., Alizadeh, M. H., Minoonejhad, H., Razi, M., & Amraee, G. H. (2017). Predictor factors for lower extremity malalignment and non-contact anterior cruciate ligament injuries in male athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25(5), 1625–1631.
- Asadi, A., Arazi, H., Young, W. B., & Saez de Villarreal, E. (2016). The effects of plyometric training on change-of-direction ability: A meta-analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 563–573.
- Asadi, A., Saez de Villarreal, E., & Arazi, H. (2015). The effects of plyometric type neuromuscular training on postural control performance of male team basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1870–1875.
- Backman, L. J., & Danielson, P. (2011). Low range of ankle dorsiflexion predisposes for patellar tendinopathy in junior elite basketball players: A 1-year prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 39(12), 2626–2633.
- Buchheit, M., Haydar, B., & Ahmadi, S. (2012). Repeated sprints with directional changes: Do angles matter? *Journal of Sports Sciences*, 30(6), 555–562.
- Contreras, B., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Beardsley, C., McMaster, D. T., Reyneke, J., & Cronin, J. (2017). Effects of a six-week hip thrust versus front squat resistance training program on performance in adolescent males: A randomized-controlled trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 999–1008.
- de Villarreal, E. S., Gonzalez-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2008). Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 715–725.
- Gonzalo-Skok, O., Serna, J., Rhea, M. R., & Marin, P. J. (2015). Relationships between functional movement tests and performance tests in young elite male basketball players. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(5), 628–638.
- Gonzalo-Skok, O., Tous-Fajardo, J., Suarez-Arrones, L., Arjol-Serrano, J. L., Casajus, J. A., & Mendez-Villanueva, A. (2015). Validity of the V-cut test for young basketball players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 893–899.
- Gonzalo-Skok, O., Tous-Fajardo, J., Suarez-Arrones, L., Arjol-Serrano, J. L., Casajus, J. A., & Mendez-Villanueva, A. (2017). Single-leg power output and between-limbs imbalances in team-sport players: Unilateral versus bilateral combined resistance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 106–114.
- Gonzalo-Skok, O., Tous-Fajardo, J., Valero-Campo, C., Berzosa, C., Bataller, A. V., Arjol-Serrano, J. L. ... Mendez-Villanueva, A. (2017). Eccentric overload training in team-sports functional performance: Constant bilateral vertical vs. Variable unilateral multidirectional movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 951–958.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Iribarren, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Ibanez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 91(5–6), 698–707.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13.



- Jeon, I. C., Kwon, O. Y., Yi, C. H., Cynn, H. S., & Hwang, U. J. (2015). Ankle-Dorsiflexion range of motion after ankle self-stretching using a strap. *Journal of Athletic Training, 50*(12), 1226–1232.
- Johnson, B. A., Salzberg, C. L., & Stevenson, D. A. (2011). A systematic review: Plyometric training programs for young children. *Journal of Strength and Conditioning Research, 25*(9), 2623–2633.
- Khlifa, R., Aouadi, R., Hermassi, S., Chelly, M. S., Jlid, M. C., Hbacha, H., & Castagna, C. (2010). Effects of a plyometric training program with and without added load on jumping ability in basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 24*(11), 2955–2961.
- Little, T., & Williams, A. G. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 19*(1), 76–78.
- Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J., & Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 41*(2), 159–164.
- Miller, M. G., Herniman, J. J., Ricard, M. D., Cheatham, C. C., & Michael, T. J. (2006). The effects of a 6-week plyometric training program on agility. *Journal of Sports Science and Medicine, 5*(3), 459–465.
- Morin, J. B. (2013). Sprint running mechanics: New technology, new concepts, new perspectives. *Aspetar Sports Medicine Journal, 2*(3), 326–332.
- Morin, J. B., Petrakos, G., Jimenez-Reyes, P., Brown, S. R., Samozino, P., & Cross, M. R. (2017). Very-Heavy sled training for improving horizontal force output in soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*(6), 840–844.
- Mujika, I., Santisteban, J., & Castagna, C. (2009). In-season effect of short-term sprint and power training programs on elite junior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 23*(9), 2581–2587.
- Murtagh, C. F., Nulty, C., Vanrenterghem, J., O'Boyle, A., Morgans, R., Drust, B., & Erskine, R. M. (2018). The neuromuscular determinants of unilateral jump performance in soccer players are direction-specific. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 13*(5), 604–611.
- O'Connor, S. R., Bleakley, C. M., Tully, M. A., & McDonough, S. M. (2013). Predicting functional recovery after acute ankle sprain. *PLoS One, 8*(8), e72124.
- Ramirez-Campillo, R., Alvarez, C., Garcia-Hermoso, A., Ramirez-Velez, R., Gentil, P., Asadi, A., ... Izquierdo, M. (2018). Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: A scoping review. *Sports Medicine, 48*(5), 1059–1081. In press.
- Ramirez-Campillo, R., Burgos, C., Henriquez-Olguin, C., Andrade, D. C., Martinez, C., Alvarez, C., ... Izquierdo, M. (2015). Effect of unilateral, bilateral and combined plyometric training on explosive and endurance performance of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 29*(5), 1317–1328.
- Reyment, C. M., Bones, M. E., Lundquist, J. C., Dallak, L. C., & Janot, J. M. (2007). Effects of a four weeks plyometric training program on measurement of power in male collegiate hockey players. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 39*, 210.
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A., & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 22*(3), 773–780.
- Saez de Villarreal, E., Requena, B., & Cronin, J. B. (2012). The effects of plyometric training on sprint performance: A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research, 26*(2), 575–584.
- Speirs, D. E., Bennett, M. A., Finn, C. V., & Turner, A. P. (2016). Unilateral vs. Bilateral squat training for strength, sprints, and agility in academy rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(2), 386–392.
- Ziv, G., & Lidor, R. (2010). Vertical jump in female and male basketball players—a review of observational and experimental studies. *Journal of Science and Medicine in Sport, 13*(3), 332–339.



---

## Artículo 2. Effects of direction-specific training interventions on physical performance and inter-limb asymmetries.

**Oliver Gonzalo-Skok <sup>1</sup>, Jorge Sánchez-Sabaté <sup>2,\*</sup>, Julio Tous-Fajardo <sup>3</sup>, Alberto Méndez-Villanueva <sup>4</sup>, Chris Bishop <sup>5</sup> and Eduardo Piedrafita <sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> Department of Return to Play, Sevilla FC, 41005 Seville, Spain; oligons@hotmail.com

<sup>2</sup> Faculty of Health Sciences, Universidad San Jorge, Campus Universitario, Autov A23 km 299, 50830 Villanueva de Gállego, Zaragoza, Spain; epiedrafita@usj.es

<sup>3</sup> INEFC Barcelona, SportsLab Performance, 08038 Barcelona, Spain; jtous17@yahoo.com

<sup>4</sup> ASPIRE Academy for Sports Excellence, Doha 22287, Qatar; amendezvillanueva@yahoo.com

<sup>5</sup> London Sport Institute, School of Science and Technology, Middlesex University, Greenlands Lane, Allianz Park, London NW4 1RL, UK; c.bishop@mdx.ac.uk

\* Correspondence: osanchez@usj.es; Tel.: +34-672-096-586

*International Journal of Environmental Research and Public Health.*

Editorial: *MDPI*. 2022 Jan 18;19(3):1029.

DOI: [10.3390/ijerph19031029](https://doi.org/10.3390/ijerph19031029)

---





Article

# Effects of Direction-Specific Training Interventions on Physical Performance and Inter-Limb Asymmetries

Oliver Gonzalo-Skok <sup>1</sup>, Jorge Sánchez-Sabaté <sup>2,\*</sup> , Julio Tous-Fajardo <sup>3</sup>, Alberto Mendez-Villanueva <sup>4</sup>, Chris Bishop <sup>5</sup> and Eduardo Piedrafita <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Return to Play, Sevilla FC, 41005 Seville, Spain; oligons@hotmail.com

<sup>2</sup> Faculty of Health Sciences, Universidad San Jorge, Campus Universitario, Autov A23 km 299, 50830 Villanueva de Gállego, Zaragoza, Spain; epiedrafita@usj.es

<sup>3</sup> INEFC Barcelona, SportsLab Performance, 08038 Barcelona, Spain; jtous17@yahoo.com

<sup>4</sup> ASPIRE Academy for Sports Excellence, Doha 22287, Qatar; amendezvillanueva@yahoo.com

<sup>5</sup> London Sport Institute, School of Science and Technology, Middlesex University, Greenlands Lane, Allianz Park, London NW4 1RL, UK; c.bishop@mdx.ac.uk

\* Correspondence: osanchez@usj.es; Tel.: +34-672-096-586

**Abstract:** This study analyzed the effects of two different training programs on functional performance and inter-limb asymmetries in basketball players. Twenty-four elite youth basketball players were randomly assigned to a training program including variable unilateral horizontal movements (VUH,  $n = 12$ ) or unilateral lateral movements (VUL,  $n = 12$ ). Eccentric-overload training (EOT) was performed twice a week for a six-week period. Functional performance assessment included a countermovement jump test, unilateral multidirectional jumping tests (i.e., lateral, horizontal, and vertical), a rebound jump test, a limb symmetry index, a 25 m linear sprint test, and several change of direction (COD) tests. Within-group analysis showed substantial improvements in almost all functional tests in both groups ( $ES = 0.35$ – $0.89$ ). Furthermore, almost all jumping asymmetries were improved in both groups ( $ES = 0.38$ – $0.69$ ) except for vertical jumping asymmetry in VUL ( $ES = -0.04$ ). Between-group analyses showed a substantial and possibly better performance in vertical jumping asymmetry and 5 m in VUH compared to that of VUL, respectively. In contrast, lateral jumping with left ( $ES = 1.22$ ) and right leg ( $ES = 0.49$ ) were substantially greater in VUL than in VUH. Specific force-vector training programs induced substantial improvements in both functional performance tests and inter-limb asymmetries, although greater improvements of lateral and horizontal variables may depend on the specific force vector targeted.

**Keywords:** resistance training; eccentric overload; functional performance; variable training



**Citation:** Gonzalo-Skok, O.; Sánchez-Sabaté, J.; Tous-Fajardo, J.; Mendez-Villanueva, A.; Bishop, C.; Piedrafita, E. Effects of Direction-Specific Training Interventions on Physical Performance and Inter-Limb Asymmetries. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 1029. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031029>

Academic Editor: Jose Manuel Jimenez-Olmedo

Received: 12 November 2021

Accepted: 10 January 2022

Published: 18 January 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Enhancing the main physical characteristics often associated with team sports (e.g., sprinting, jumping, or cutting) is a key goal of any training program with athletes [1]. Movements in team sports often require athletes to produce force unilaterally in unpredictable and variable contexts with an emphasis on eccentric and multidirectional movement patterns [2]. Lately, a growing body of literature supports the selection of exercises in different planes of motion may produce specific functional adaptations (i.e., the force vector theory) [1,3,4]. For example, studies show more beneficial effects in vertical jump height after vertical squat training [1], or a greater impact in linear sprinting performance [3] or multidirectional force application tests after either hip thrust-based training [3] or variable unilateral multidirectional training [1]. Therefore, practitioners should consider this notion as a critical aspect when programming exercises for a specific goal. Whilst such interventions have been conducted to determine the effects on measures of physical performance, far less training studies have been conducted to determine the effects on inter-limb asymmetry

in team sports athletes [5–8]. Recent investigations have demonstrated that some asymmetries are indeed functional to sport performance [9], but also other studies have shown that larger asymmetries are associated with reduced physical performance [10]. The majority of studies have looked at associative analyses between asymmetry and performance, but in order to truly understand “cause and effect”, more training intervention studies are needed, because the values obtained in sporting asymmetries are realized very task specifically [11]. For example, a substantial reduction (effect size (ES) = 1.15) for inter-limb power asymmetry in unilateral squats after a six-week unilateral combined resistance training program in basketball players has been reported [6]. More recently, no meaningful changes were evident for inter-limb jumping and change of direction (COD) asymmetries after an eight-week combined strength and power training intervention in female adolescent football players [7]. Finally, Sannicandro et al. [5] showed that a six-week, twice weekly, strength, jumping, and balance training program significantly reduced existing inter-limb differences in youth tennis athletes (ES = 1.04–2.08). Despite these reductions in asymmetry, no change was evident in speed or COD speed performance thereafter. Considering the conflicting evidence about the effects of training interventions on inter-limb asymmetry, further investigations are warranted in this way.

Sport science research has shown that traditional strength training methods have been useful to improving specific movement patterns like jumping, sprinting, or cutting [3,4,6,7]. However, in recent years, the inclusion of training programs focused on eccentric overload and force vector orientation has exponentially increased in the scientific literature [1,2,8,12,13]. Eccentric-based training produces specific adaptations related to power output (e.g., an increase in muscle cross-sectional area, maximal force, and velocity of fiber shortening) [14]. It is considered that these adaptations may improve athletic performance. It should be noted that almost all eccentric overload training programs have found substantial improvements in COD performance [1,2,12]. Furthermore, jumping performance in several planes of motion has also been enhanced after such training strategies, mainly in specific-direction training [1,2,8,12]. However, only two studies have analyzed the effect of eccentric overload training on inter-limb asymmetries, both showing significant reductions in asymmetry [8,12]. Despite these positive results, there is scarce information to draw practical applications about reducing inter-limb asymmetries through the above-mentioned training strategy. Thus, the main aims of the present study were: (1) to examine the effects of two unilateral eccentric overload training strategies focused on specific force-vector training (horizontal vs. lateral) on their specific and nonspecific force vector inter-limb asymmetries and (2) to analyze the effects of these training strategies on functional performance tests in young basketball players. As the force vector theory is currently supported through several studies, we hypothesized that those training strategies performed on a specific force vector would improve the inter-limb-specific asymmetry.

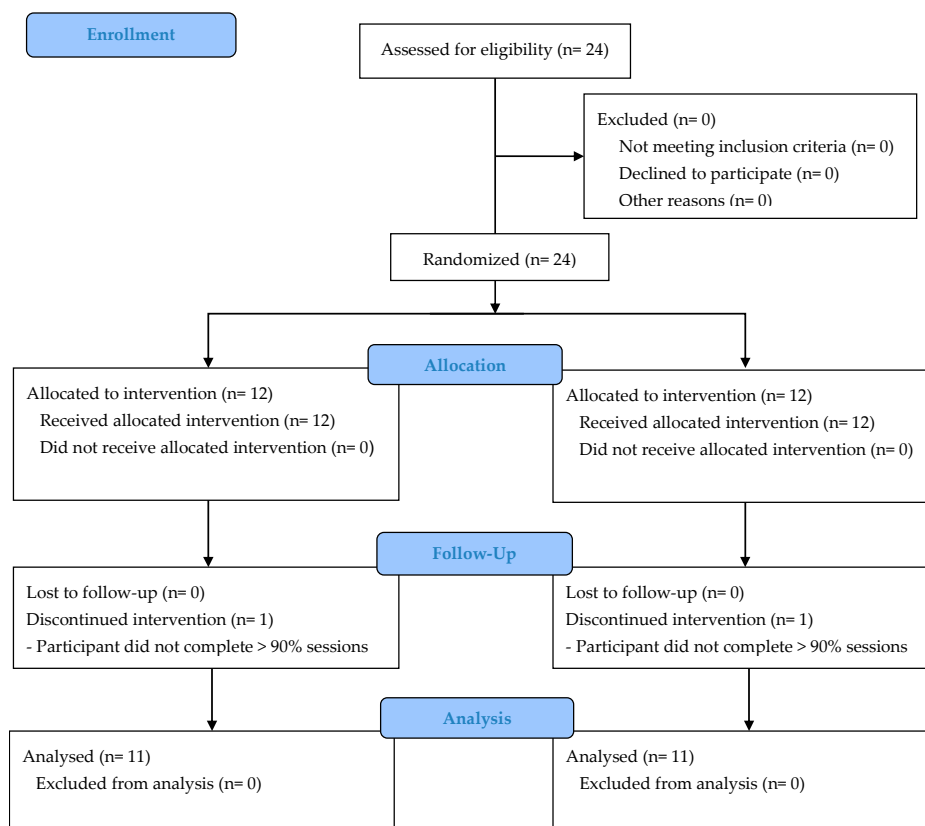
## 2. Materials and Methods

### 2.1. Participants

Twenty-four young (from U-15 to U-18) highly trained basketball players (age:  $16 \pm 1$  years; height:  $193.2 \pm 10.5$  cm; body weight [BW]:  $84.9 \pm 10.8$  kg) belonging to an elite basketball club volunteered to participate. Data collection took place during the competitive season's second month, after a two-month preseason and the first month of competition. All players participated an average of ~11 h of combined training based on six basketball sessions (1 h 30'/session) and two strength/power sessions (1 h/session), added to two competitive matches (40' of playing time/match) per week for 6 weeks. All players were competing at a national level and eight of them also at international level (i.e., European and World Basketball Championship).

The eligibility criteria for the participants of the study were (Scheme 1): (i) to have a minimum experience of one year (range 1–4 years) in strength training, (ii) to be injury free through the intervention, (iii) to have completed >90% of the resistance training program. Informed consent was obtained from all subjects' parents because the players were minors

during the study. The current study was approved by the institutional research ethics committee and conformed to the Declaration of Helsinki recommendations.



**Scheme 1.** CONSORT 2010 flow diagram.

## 2.2. Study Design

Using a controlled and randomized study design, players were divided into a variable unilateral lateral group (VUL,  $n = 12$ ) or a variable unilateral horizontal group (VUH,  $n = 12$ ). The training period lasted 6 weeks and was carried out in addition to the six regular basketball training sessions per week.

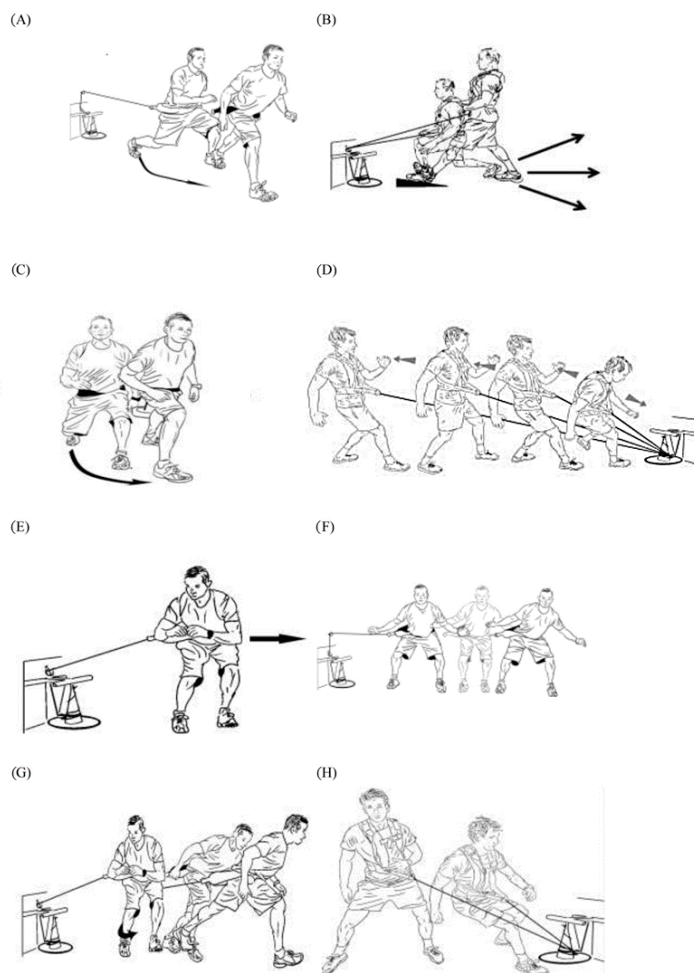
Tests were performed on an indoor basketball court one week before the training period and one week after the training period in the afternoon (6 p.m.–8 p.m.). These tests were realized on days with the same indoor environmental conditions ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$ ). No meals or supplements were consumed 3 h before the tests. The assessment included, in this sequence of implementation, a bilateral countermovement jump test (CMJ), a unilateral countermovement jump test with the right leg (CMJR) and left leg (CMJL), a unilateral horizontal jump test with the right leg (HJR) and left leg (HJL), a unilateral lateral jump test with the right leg (LJR) and left leg (LJL), a repeated jumping five-second test (RJ5), a 25 m running sprint test (with 5 and 20 m split times), a 10 m sprint test (5 m + 5 m) with a  $180^{\circ}$  COD performed with the right leg (180CODR) and left leg (180CODL), a multiple-COD test (V-cut test) and a limb symmetry index (LSI) between the unilateral test. Three attempts per test were performed with 3 min of passive recovery between tests. The players were familiarized with these exercise procedures one week before the assessment by performing each test at least 6 times.

## 2.3. Procedures

### 2.3.1. Training Intervention

Participants performed two weekly training sessions in the afternoon (6 p.m.–8 p.m.) during a 6-week period. VUL consisted of a set of four different unilateral lateral exercises:

lateral lunges, defensive shuffles, lateral crossover steps, and 90° lateral lunges with a predominant lateral force vector, whereas the VUH included a set of four different unilateral horizontal exercises: forward lunges, backward lunges, front crossover steps, and landings with backwards steps with a predominant horizontal force vector. A portable Conic Pool with 0.27 kg·m<sup>2</sup> inertia and a transmission pulleys/harness setup (Versa Pulley, Costa Mesa, CA, USA) was used (Figure 1).



**Figure 1.** Functional eccentric overload variable unilateral horizontal training program and the corresponding force vector application: (A) side-step (posteroanterior/anteroposterior), (B) backward lunges (anteroposterior/posteroanterior), (C) crossover cutting (rotational/anteroposterior), and (D) landings and backward lunges; and functional eccentric overload variable unilateral lateral training program: (E) lateral squat (mediolateral/lateromedial), (F) defensive-like shuffling steps (mediolateral/lateromedial), (G) lateral crossover cutting (rotational/lateromedial), and (H) 90° lunge (rotational/lateromedial).

The training load was periodized as follows (Table 1): 6 repetitions in the 1st–2nd weeks; 8 repetitions in the 3rd–4th weeks; 10 repetitions in the 5th–6th weeks. The players were encouraged to perform the concentric phase as fast as possible, while delaying the braking action to the last third of the eccentric phase. Three minutes of passive recovery were provided between exercises. All training sessions started with the weaker leg, which was defined as the leg with the greater number in the same asymmetry direction (left or right).



**Table 1.** Program training exercises and load.

| Week | Session | VUH Exercises               | VUL Exercises                  | Sets × Repetitions |
|------|---------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1    | 1–2     | Side-step                   | Lateral squat                  | 1 × 6              |
|      |         | Backward lunges             | Defensive-like shuffling steps | 1 × 6              |
|      |         | Crossover cutting           | Lateral crossover cutting      | 1 × 6              |
|      |         | Landing and backward lunges | 90° lunge                      | 1 × 6              |
| 2    | 3–4     | Side-step                   | Lateral squat                  | 1 × 6              |
|      |         | Backward lunges             | Defensive-like shuffling steps | 1 × 6              |
|      |         | Crossover cutting           | Lateral crossover cutting      | 1 × 6              |
|      |         | Landing and backward lunges | 90° lunge                      | 1 × 6              |
| 3    | 5–6     | Side-step                   | Lateral squat                  | 1 × 8              |
|      |         | Backward lunges             | Defensive-like shuffling steps | 1 × 8              |
|      |         | Crossover cutting           | Lateral crossover cutting      | 1 × 8              |
|      |         | Landing and backward lunges | 90° lunge                      | 1 × 8              |
| 4    | 7–8     | Side-step                   | Lateral squat                  | 1 × 8              |
|      |         | Backward lunges             | Defensive-like shuffling steps | 1 × 8              |
|      |         | Crossover cutting           | Lateral crossover cutting      | 1 × 8              |
|      |         | Landing and backward lunges | 90° lunge                      | 1 × 8              |
| 5    | 9–10    | Side-step                   | Lateral squat                  | 1 × 10             |
|      |         | Backward lunges             | Defensive-like shuffling steps | 1 × 10             |
|      |         | Crossover cutting           | Lateral crossover cutting      | 1 × 10             |
|      |         | Landing and backward lunges | 90° lunge                      | 1 × 10             |
| 6    | 11–12   | Side-step                   | Lateral squat                  | 1 × 10             |
|      |         | Backward lunges             | Defensive-like shuffling steps | 1 × 10             |
|      |         | Crossover cutting           | Lateral crossover cutting      | 1 × 10             |
|      |         | Landing and backward lunges | 90° lunge                      | 1 × 10             |

### 2.3.2. Functional Performance Tests

Every assessment (before and after) was carried out in 2 different days. All jumping tests were administered on the first day, and linear sprint and COD tests on the second day. Three attempts per test were performed with 3 min of passive recovery between tests. Unilateral tests were performed with each limb, starting with the weaker leg. First and second sessions were separated by 48 h and took place at the same time of the day (from 6 p.m. to 8 p.m.).

### 2.3.3. Countermovement Jump Test

Lower limb vertical explosive power was assessed by an infrared optical detection system (Optojump, Microgate, Bolzano, Italy; intraclass correlation coefficient (ICC) was 0.982–0.989, and coefficient of variation (CV) was 2.7%) [2]. Variables used for analyses were CMJ, CMJR, CMJL, and both limbs' mean (CMJpool). These tests were performed 3 times with 45 s of passive recovery between repetitions, and the best score was recorded. ICC was 0.91–0.96, and CV was 2.4–4.2%.

### 2.3.4. Lateral and Horizontal Jump Tests

Lateral jump (LJ) and horizontal jump (HJ) performance (i.e., distance) were assessed following the Hewit et al. protocol [15]. Variables used for analyses: LJR, HJR, LJL, HJL, and both limbs' mean (LJpool and HJpool). These tests were performed 3 times with 45 s of passive recovery between repetitions, and the best score was recorded. ICC was 0.84–0.9, and CV was 3.6–4.1%.

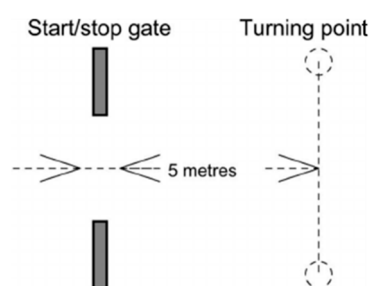
### 2.3.5. Speed Tests

Running speed was evaluated on 25 m by photocell timing (Witty, Microgate, Bolzano, Italy; ICC was 0.785–0.952 and CV was 1.66–4.06%). Tests with a standing start position and with 5 m and 20 m split times were performed. Players started with the front foot

0.5 m before the starting line. The photoelectric cells were raised on tripods to 0.75 m above the ground and stood 1.5 m apart. This test was performed 3 times with 2 min of passive recovery between repetitions, and the best time was recorded. ICC was 0.79–0.83, and CV was 1.5–4.8%.

### 2.3.6. COD Tests

A 10 m sprint test with a 180° COD was performed (Figure 2). Each player sprinted from the start/finish line, completely crossed the 5 m line with either the right or left foot, and turned 180° to sprint back to the start/finish line. Players started with the front foot 0.5 m before the starting line. The photoelectric cells were raised on tripods to 0.75 m above the ground and stood 1.5 m apart. This test was performed 3 times with 2 min of passive recovery between repetitions, and the best time was recorded. The variables used in the analyses were 180CODL and 180CODR. ICC was 0.78–0.85, and CV was 1.4–2.1%.



**Figure 2.** Modified 505 agility test.

### 2.3.7. V-Cut Test

Players sprinted on a 25 m zigzagging path, performing a 45°-COD every 5 m [16]. Players started with the front foot 0.5 m before the starting line. The photoelectric cells were raised on tripods to 0.75 m above the ground and stood 1.5 m apart. This test was performed 3 times with 2 min of passive recovery between repetitions, and the best time was recorded. ICC was 0.87–0.95, whereas CV was 1.2–1.7%.

### 2.3.8. LSI

Limb symmetry index was calculated in all unilateral tests performed (LSI = worse leg/better leg  $\times$  100) [17].

## 2.4. Statistical Analyses

Data are presented as mean  $\pm$  standard deviation (SD). All data were first log-transformed to reduce bias arising from non-uniformity error. The effect size (ES, 90%CI) in the selected variables was calculated using the pooled pretraining SD. Threshold values for Cohen ES statistics were  $>0.2$  (small),  $>0.6$  (moderate), and  $>1.2$  (large) [18]. For intra/inter-group comparisons, the chances that the differences in performance were better/greater, similar, or worse/smaller were calculated. Quantitative chances of beneficial/better or detrimental/poorer effect were assessed qualitatively as follows:  $<1\%$ , most likely not;  $>1\text{--}5\%$ , very unlikely;  $>5\text{--}25\%$ , unlikely;  $>25\text{--}75\%$ , possible;  $>75\text{--}95\%$ , likely;  $>95\text{--}99\%$ , very likely; and  $>99\%$ , most likely [18]. If the chance of having beneficial/better or detrimental/poorer performances was both  $>5\%$ , the true difference was assessed as unclear. Otherwise, we interpreted that change as the observed chance [18].

## 3. Results

### 3.1. Participants

Only players who participated in at least 90% of the training sessions were analyzed, which resulted in two groups, 11 players/group (VUL:  $16 \pm 1$  years,  $191.2 \pm 10.8$  cm,  $84.2 \pm 10.1$  kg; VUH:  $16 \pm 1$  years,  $190.1 \pm 10.1$  cm,  $83.2 \pm 9.9$  kg) with no substantial anthropometric differences found at before or after the tests.

### 3.2. Intragroup Changes

Substantial improvements were found in CMJL, HJR, HJL, LSI in horizontal jumping (LSIHJ), LJR, LSI in lateral jumping (LSILJ), 180CODR, 180CODL in both groups compared to those pre-tests (Tables 2 and 3). Furthermore, CMJR, LSI in vertical jumping (LSICMJ) and 5 m split time were also substantially enhanced in the VUH group (Table 2), whereas LJR had substantially better results in VUL (Table 3).

**Table 2.** Changes in performance after variable unilateral horizontal (VUH, n = 11) eccentric overload training.

|               | Pre-Test     | Post-Test    | % (CL90%)        | ES (CL90%)          | Chances  | Outcome             |
|---------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|----------|---------------------|
| CMJ (cm)      | 35.4 ± 5.2   | 36.1 ± 5.3   | 1.9 (−0.8; 4.6)  | 0.12 (−0.05; 0.28)  | 19/81/0% | Likely trivial      |
| CMJR (cm)     | 17.5 ± 3.0   | 19.2 ± 2.5   | 10.4 (2.7; 18.8) | 0.51 (0.13; 0.88)   | 92/8/0%  | Likely              |
| CMJL (cm)     | 19.0 ± 2.4   | 20.6 ± 2.2   | 8.6 (3.5; 13.9)  | 0.62 (0.26; 0.99)   | 97/3/0%  | Very Likely         |
| LSICMJ (%)    | 88.8 ± 9.3   | 92.6 ± 4.6   | 4.7 (0.0; 9.7)   | 0.38 (0.00; 0.77)   | 80/19/1% | Likely              |
| HJR (cm)      | 161.0 ± 16.5 | 169.8 ± 15.5 | 5.6 (2.5; 8.7)   | 0.50 (0.22; 0.77)   | 96/4/0%  | Very Likely         |
| HJL (cm)      | 157.0 ± 14.5 | 169.5 ± 16.5 | 7.9 (5.0; 10.8)  | 0.80 (0.52; 1.08)   | 100/0/0% | Most Likely         |
| LSIHJ (%)     | 94.7 ± 4.5   | 97.0 ± 2.5   | 2.5 (0.0; 5.0)   | 0.46 (0.01; 0.91)   | 84/15/1% | Likely              |
| LJR (cm)      | 149.5 ± 13.7 | 154.4 ± 11.4 | 3.4 (−0.1; 6.9)  | 0.33 (−0.01; 0.67)  | 73/26/1% | Possibly            |
| LJL (cm)      | 149.7 ± 8.1  | 157.4 ± 10.7 | 5.0 (3.1; 7.0)   | 0.83 (0.51; 1.15)   | 100/0/0% | Most Likely         |
| LSILJ (%)     | 92.5 ± 5.4   | 95.2 ± 3.8   | 2.9 (1.0; 4.9)   | 0.44 (0.15; 0.73)   | 92/8/0%  | Likely              |
| 5 m (s)       | 1.06 ± 0.06  | 1.03 ± 0.06  | 2.9 (1.7; 4.1)   | 0.50 (0.28; 0.72)   | 98/2/0%  | Very Likely         |
| 10 m (s)      | 1.81 ± 0.07  | 1.79 ± 0.08  | 0.9 (0.2; 1.5)   | 0.20 (0.04; 0.35)   | 48/52/0% | Possibly            |
| 20 m (s)      | 3.11 ± 0.13  | 3.11 ± 0.13  | 0.0 (−0.8; 0.8)  | 0.01 (−0.18; 0.19)  | 4/92/3%  | Likely trivial      |
| 25 m (s)      | 3.73 ± 0.15  | 3.74 ± 0.15  | −0.1 (−0.5; 0.3) | −0.03 (−0.13; 0.07) | 0/99/1%  | Very Likely trivial |
| 180°-CODR (s) | 2.69 ± 0.09  | 2.63 ± 0.10  | 2.0 (0.8; 3.3)   | 0.55 (0.21; 0.90)   | 95/4/0%  | Very Likely         |
| 180°-CODL (s) | 2.71 ± 0.08  | 2.64 ± 0.11  | 2.6 (1.1; 4.1)   | 0.85 (0.35; 1.35)   | 98/2/0%  | Very Likely         |
| LSICOD (%)    | 98.1 ± 1.2   | 97.1 ± 2.2   | −1.0 (−2.3; 0.4) | −0.76 (−1.79; 0.27) | 6/11/83% | Likely harmful      |
| V-cut (s)     | 6.91 ± 0.29  | 6.82 ± 0.19  | 1.2 (0.0; 2.3)   | 0.25 (0.00; 0.51)   | 65/35/0% | Possibly            |

Note: CMJ: countermovement jump; CMJR and CMJL: countermovement jump with right and left leg; LSICMJ: limb symmetry index in CMJ; HJR and HJL: horizontal jump with right and left leg; LSIHJ: limb symmetry index in HJ; LJR and LJL: lateral jump with right and left leg; LSILJ: limb symmetry index in LJ; 180°-CODR and 180°-CODL: 5 + 5 m sprint with 180° change of direction with right and left leg; LSICOD: limb symmetry index in COD; CL: confidence limit; ES: effect size.

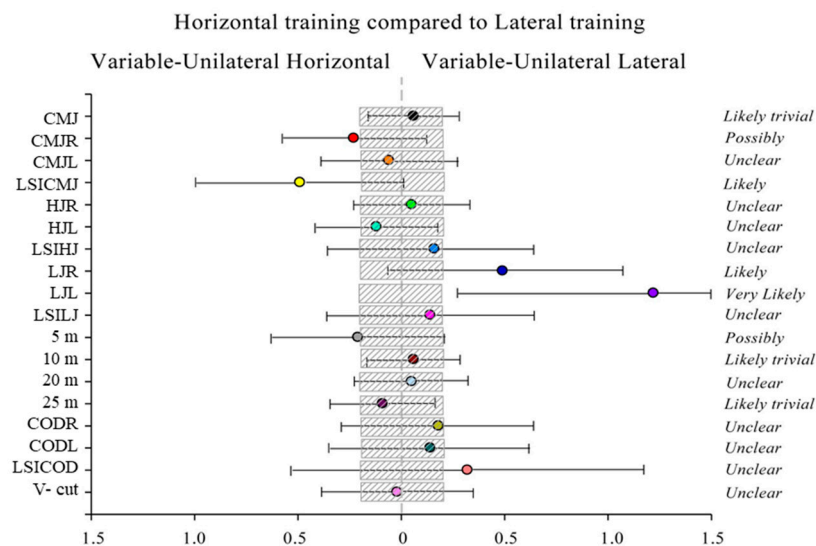
**Table 3.** Changes in performance after variable unilateral lateral (VUL, n = 11) eccentric overload training.

|               | Pre-Test     | Post-Test    | % (CL90%)        | ES (CL90%)          | Chances   | Outcome          |
|---------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|-----------|------------------|
| CMJ (cm)      | 34.9 ± 5.0   | 35.8 ± 4.6   | 2.8 (0.8; 4.9)   | 0.18 (0.05; 0.30)   | 37/63/0%  | Possibly         |
| CMJR (cm)     | 18.6 ± 4.1   | 19.5 ± 4.3   | 4.8 (2.1; 7.6)   | 0.19 (0.08; 0.29)   | 42/58/0%  | Possibly         |
| CMJL (cm)     | 19.0 ± 3.7   | 20.3 ± 3.3   | 7.5 (3.6; 11.5)  | 0.35 (0.17; 0.52)   | 92/8/0%   | Likely           |
| LSICMJ (%)    | 91.1 ± 6.9   | 90.9 ± 7.8   | −0.3 (−2.8; 2.1) | −0.04 (−0.34; 0.25) | 8/74/18%  | Unclear          |
| HJR (cm)      | 165.7 ± 21.1 | 175.6 ± 19.5 | 6.2 (4.0; 8.2)   | 0.44 (0.29; 0.59)   | 99/1/0%   | Very Likely      |
| HJL (cm)      | 166.8 ± 20.8 | 177.0 ± 19.4 | 6.3 (3.6; 9.1)   | 0.43 (0.25; 0.61)   | 98/2/0%   | Very Likely      |
| LSIHJ (%)     | 94.0 ± 4.1   | 97.1 ± 2.7   | 3.3 (1.6; 4.9)   | 0.69 (0.35; 1.04)   | 99/1/0%   | Very Likely      |
| LJR (cm)      | 146.1 ± 22.4 | 156.9 ± 17.9 | 8.0 (4.8; 11.2)  | 0.46 (0.28; 0.64)   | 99/1/0%   | Very Likely      |
| LJL (cm)      | 143.2 ± 15.0 | 158.5 ± 18.2 | 10.6 (7.2; 14.1) | 0.89 (0.62; 1.17)   | 100/0/0%  | Almost Certain   |
| LSILJ (%)     | 92.5 ± 5.9   | 96.0 ± 4.3   | 3.9 (1.0; 6.8)   | 0.53 (0.13; 0.92)   | 92/8/0%   | Likely           |
| 5 m (s)       | 1.06 ± 0.06  | 1.04 ± 0.05  | 1.7 (−0.4; 3.8)  | 0.29 (−0.07; 0.64)  | 66/32/2%  | Possibly         |
| 10 m (s)      | 1.82 ± 0.07  | 1.80 ± 0.07  | 1.1 (0.5; 1.7)   | 0.27 (0.11; 0.43)   | 68/25/7%  | Possibly         |
| 20 m (s)      | 3.12 ± 0.11  | 3.12 ± 0.12  | 0.1 (−0.7; 1.0)  | 0.04 (−0.18; 0.26)  | 11/85/4%  | Likely trivial   |
| 25 m (s)      | 3.74 ± 0.13  | 3.76 ± 0.15  | −0.5 (−1.4; 0.4) | −0.12 (−0.35; 0.10) | 1/71/27%  | Possibly trivial |
| 180°-CODR (s) | 2.67 ± 0.13  | 2.59 ± 0.17  | 2.8 (1.2; 4.8)   | 0.56 (0.24; 0.88)   | 97/3/0%   | Very Likely      |
| 180°-CODL (s) | 2.71 ± 0.17  | 2.62 ± 0.16  | 3.3 (1.3; 5.2)   | 0.51 (0.20; 0.82)   | 95/5/0%   | Very Likely      |
| LSICOD (%)    | 97.1 ± 2.5   | 96.8 ± 2.0   | −0.3 (−1.7; 1.2) | −0.09 (−0.63; 0.44) | 17/47/36% | Possibly harmful |
| V-cut (s)     | 6.99 ± 0.36  | 6.91 ± 0.32  | 1.1 (−0.5; 2.6)  | 0.20 (−0.08; 0.48)  | 49/49/1%  | Possibly         |

Note: CMJ: countermovement jump; CMJR and CMJL: countermovement jump with right and left leg; LSICMJ: limb symmetry index in CMJ; HJR and HJL: horizontal jump with right and left leg; LSIHJ: limb symmetry index in HJ; LJR and LJL: lateral jump with right and left leg; LSILJ: limb symmetry index in LJ; 180°-CODR and 180°-CODL: 5 + 5 m sprint with 180° change of direction with right and left leg; LSICOD: limb symmetry index in COD; CL: confidence limit; ES: effect size.

### 3.3. Intergroup Changes

Substantially better results were shown in LSICMJ (4.9%, 90%CI:  $-0.1$ ; 9.5; 84/15/1%), in VUH in comparison to that in VUL, whereas LJR (2.8%, 90%CI:  $-0.4$ ; 6.2; 81/16/2%) and LJL (5.0%, 90%CI: 1.1; 9.0; 96/3/1%) were substantially greater in VUL compared to VUH. A possibly greater performance was found in CMJR (5.1%, 90%CI:  $-2.4$ ; 12.1; 57/41/2%) and 5 m split time (1.2%, 90%CI:  $-1.2$ ; 3.7; 51/43/5%) in VUH compared to those of VUL (Figure 3).



**Figure 3.** Efficiency of variable unilateral horizontal training (VUH) compared to that of the variable unilateral lateral (VUL) training program to improve bilateral countermovement jump performance (CMJ), vertical jump with the right (CMJR) and left leg (CMJL), the between-legs asymmetry in vertical jumping (LSICMJ), horizontal jump with the right (HJR) and left leg (HJL), the between-legs asymmetry in horizontal jumping (LSIHJ), lateral jump with the right (LJR) and left leg (LJL), the between-legs asymmetry in lateral jumping (LSILJ), 5, 10, 20 and 25 m linear sprint time, a sprint of 10 m (5 + 5 m) with the right (CODR) and left leg (CODL) with a change of direction of 180°, the between-legs asymmetry in 180° change of direction (LSICOD) and a 25 m sprint with 4 changes of direction of 45° (V-cut) (the bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence limits). Trivial areas were the smallest worthwhile change (SWC) (see Section 2).

### 4. Discussion

The present study compared the effects of two variable unilateral training programs emphasizing either the horizontal force component or greater lateral/rotational force vector application on inter-limb asymmetries and a battery of functional performance tests. The main findings were: (1) inter-limb asymmetry in functional jumping tests (CMJ, HJ, and LJ) substantially improved in both groups, and (2) both training programs substantially improved almost all tests, though the training adaptation principle specificity mainly prevailed, with VUH group showing greater enhancements in those tests which predominantly emphasized the horizontal (posteroanterior/anteroposterior) component (i.e., 5 m), whereas better results were found in lateral/rotational force application tests (i.e., LJR and LJL) in the VUL group.

Inter-limb asymmetries in strength and power have been considered a valid and useful tool to detect players at high risk of injury [17], to monitor a successful return to sport after an ACL injury [19], as well as to improve jump, speed, and COD performance [10,20,21]. In the present study, both groups improved almost all inter-limb jumping asymmetries (ES: from 0.38 to 0.69), therefore, these results are in line with those previously published in the literature (ES: from 0.00 to 1.15) [6–8,12]. However, it is interesting to note that the specificity principle was evident in the present research. Lateral jumping asymmetries' improvement were greater in the VUL group compared to that in the VUH group (ES:

0.53 vs. 0.44). Furthermore, only one study has analyzed the effect on lateral jumping asymmetries, showing a lower ES (0.34) [12]. These differences between studies might be due to the force vector or the training strategy used (starting with the weaker leg vs. unspecified). Furthermore, horizontal jumping asymmetry was also analyzed. Despite both groups having substantially reduced such asymmetry, VUL achieved a slightly greater ES (ES: from 0.44 to 0.53). It should be noted that the horizontal force vector can be performed by posteroanterior and anteroposterior movements, in both ways. As VUL performed two posteroanterior (also lateral) exercises as well as VUH, such slight differences might be due to executing the same number of movements, in a similar way to horizontal jumping. Notwithstanding, previously published reports showed lower horizontal jumping asymmetry ES (ES: from  $-0.15$  to  $0.40$ ) compared to that in the current study (ES: from  $0.44$  to  $0.53$ ) [7,8,12]. Interestingly, no study provided a beneficial effect (i.e., trivial to negative) when a horizontal force vector was not present with only one exception. Even though the exercise was not performed in the same force vector (lateral vs. horizontal), a double volume execution with the weaker leg reduced a nonspecific asymmetry, showing the importance of task-specificity and training volume.

Keeping in mind the last jumping asymmetry (i.e., vertical), trivial to moderate results (ES: from  $0.08$  to  $0.70$ ) have been found in previous studies [7,8,12]. While the VUH group achieved a small ES (ES:  $0.38$ ), the VUL group showed a small impairment (ES:  $-0.04$ ). These differences can be justified through similar dynamic correspondence between VUH exercises and the vertical axis, but not for VUL. Thus, unless the training volume with the weaker leg is very high, where task specificity (i.e., unilateral training) might be the key factor, the specific force vector seems to be an important requisite to decrease inter-limb asymmetries, at least when training volume is similar between both limbs. Furthermore, several studies started every training session with the weaker leg [6–8], so it seems like those training interventions that involve unilateral strength exercises and always start with the weaker leg might be effective in reducing inter-limb asymmetries, although more studies are needed.

Considering the COD asymmetry increase, it seems that the current training strategies are not effective. However, asymmetry values are close to perfect, highlighting that total time might be a poor metric to detect existing side-to-side differences [22]. These results are in accordance with those of previous studies [7,8,12], where negative to small positive effects were found and, essentially, all players were considered as almost perfectly symmetrical. Consequently, practitioners should consider alternative test methods when looking to detect inter-limb asymmetry during CODS actions [22]. Additionally, it is important to keep in mind that COD movements are a very specific type of motor pattern which may be best served by practicing the COD task itself [23]. Therefore, it is possible that both COD assessment and training might be performed through specific motor patterns.

Neither VUH nor VUL substantially improved bilateral vertical jumping performance (ES = from  $0.12$  to  $0.18$ ), which is in disagreement with previous studies using other eccentric overload training (EOT) programs (ES = from  $0.42$  to  $0.58$ ) [1]. Furthermore, the literature concerning team sports' players has reported considerably greater improvements in bilateral CMJ after different training strategies (i.e., resistance training [24], plyometrics [24], combined [6,25], or complex training [26]) (ES = from  $0.27$  to  $0.71$ ). While the vast majority of exercises performed during the above-mentioned interventions were composed by bilateral exercises executed in the axial force vector, the current intervention included only unilateral exercises executed in the horizontal or lateral plane. Thus, it is unclear whether the force vector or the bilateral–unilateral nature of the exercises might be behind those between-study differences in CMJ performance. On the other hand, unilateral vertical jumping performance was substantially improved in both groups (ES = from  $0.35$  to  $0.62$ ), except for CMJR (ES =  $0.19$ ) in VUL. These results are in line with those found after constant bilateral vertical training (ES = from  $0.45$  to  $0.47$ ) or variable unilateral multidirectional training (ES = from  $0.27$  to  $0.39$ ) performed with a conical pulley [1]. Thus, it seems that

unilateral training performed in other force vectors (i.e., task specificity) has the potential to improve single-leg vertical jump performance.

Lateral and horizontal unilateral jumps have been moderately to largely related to linear sprinting and COD performance [27], but only two studies have analyzed the effect of EOT on lateral jumping [1,12]. Substantial improvements in LJ were achieved in both studies (ES = from 0.24 to 0.87), although possibly a greater performance was reported from multidirectional training including lateral and horizontal movements compared to those of vertical movements. Furthermore, multidirectional training showed greater ES (ES = from 0.51 to 0.87) [1] in comparison to that of a combined specific skill with handball players (ES = from 0.24 to 0.49) [12]. These results are in line with the current study (ES = from 0.33 to 0.89), with the VUL group showing stronger adaptations (Table 3, Figure 3). These results support the notion that force vector application might be a key factor to developing specific adaptations. Regarding horizontal jumping, previous training studies have reported small to moderate effects (ES = from 0.38 to 0.65). The previously observed gains in horizontal jumping performance are slightly greater than those obtained by the VUL group, and slightly smaller in comparison with those of VUH (ES = from 0.50 to 0.80) [1,28]. It may be possible that these between-study differences are due to the number of exercises addressing one force vector or the training volume carried out. However, some exercise inclusion in the VUL training program (i.e., lateral crossover step and lunge 90°), where the anteroposterior/posteroanterior force vector was also stimulated, may have contributed to intergroup difference lack in horizontal jumping.

Only the VUH group achieved a substantial improvement in 5 m, with no substantial enhancement in any other distance of linear sprinting in any group. As previously reported [1], the selected exercises focused on the first steps of the movements and thus, better results would be expected in the initial phase of a linear sprint due to the similarity of ground contact times. Thus, the ES reached in 5 m (ES = 0.50) was quite similar to the ES provided after variable unilateral multidirectional training (ES = 0.54) [1]. However, the rest of linear sprinting results (10, 20, and 25 m) are not in accordance with those found after different EOT programs (ES = from 0.10 to 0.80) [2,29,30], whereas traditional vertical-horizontal strength training programs have reported slightly lower results (ES = from 0.19 to 0.24) [31,32]. Between-study differences might be due to the training volume performed, the season moment, or the participants' training experience/age.

These results indicate that both training programs induced substantial improvements in COD 180° performance (Tables 2 and 3). However, the VUH group obtained better adaptations (i.e., greater mean ES) in 180°-COD tests in comparison with those in the VUL group (ES = 0.53 vs. 0.70). Paying attention to training content, there are only two studies that have included a similar EOT program [1,33]. One of them was quite similar to the current protocol (i.e., variable unilateral multidirectional) [1], and the results are within the reported ES (ES = from 0.54 to 0.61 vs. from 0.51 to 0.85) in the test that included the same number of turns (i.e., 1 COD) and distance covered (i.e., 10 m). It is possible that the 5 m improvement achieved in both groups at post-test related to a possible eccentric overload in the forward lunge (similar biomechanics to 180°-COD braking in the same position) might be responsible for prompting these enhancements and the between-group differences in the 180°-COD ES mean (i.e., VUH vs. VUL), as there were possibly and substantial differences in 5 m, respectively. On the other hand, the V-cut test was not substantially improved in any group, which is in agreement with a study that included a similar COD test (4 × 100° cut angles along 20 m) after a six-week training program performing from five to eight sets of a single horizontal exercise (front step) on the CP [33]. A priori, we considered this test more related to lateral/torsional movements than horizontal movements. Indeed, substantial gains in the V-cut test (ES = 1.22) were provided after a combined lateral/rotational EOT + vibrations in young soccer players [2]. It is worth noting that the main determinants in COD ability are linear sprinting, eccentric strength, technique, and anthropometry [34]. As only the VUH group improved one of these components (5 m), no eccentric overload was achieved in the lateral squat, and considering that eccentric overload in this exercise was

not noted in our pilot studies, it seems that the repeated COD ability improvement might be based on the development of at least an eccentric overload in the lateral squat exercise, just as it was hypothesized in the above-mentioned study where the YoYo Squat was used.

The new approach based on performing exclusively one set per exercise seems to be time-effective to improve the most important abilities in basketball players. Indeed, strength and conditioning coaches could choose the required specific force vector on the selected ability by position on the court and role during the game. Furthermore, unilateral exercises might help balance both limbs and achieve the two-fold aim in a time-efficient manner: improve performance and minimize the risk of injury. When the aim is to decrease inter-limb asymmetry, both the specific force vector starting with the weaker leg and task-specificity seems to be the appropriated strategy when the volume is equated between both limbs. Finally, in the practical context, our proposal is fine-tuning permanently (i.e., inter-, and intra-set and session) and not to choose one or the other option. The idea is to evolve the progression by fine-tuning vectors, external elements, perturbations, and unilateral/bilateral exercises. All depends on what will be expected based on specific player demands.

This work has some limitations that should be acknowledged. Firstly, the body composition was not analyzed, considering some studies have shown substantial improvements in muscle volume and positive changes in body composition after eccentric overload training [35,36]. This type of adaptation could be relevant to athletes' performance. Secondly, the sample of the study was elite youth basketball players, so it was not possible to have a control group. Moreover, the restricted statistical power because of the sample size in this study may have influenced the significance of some of the statistical comparisons conducted. A post hoc power analysis revealed that, for the lowest effect size of interest observed in the present study ( $d = 0.3$ ), the number of players would have been approximately 137 in each group to obtain statistical power at the recommended 0.80 level. Future research should control these variables.

## 5. Conclusions

A specific force vector training program induced substantial improvements in both specific and nonspecific inter-limb asymmetries and functional performance tests, although greater improvements of lateral and horizontal variables may depend on the specific force vector targeted. Therefore, the force vector application (i.e., anteroposterior/posteroanterior vs. lateral/torsional) and task specificity may play an important role in developing different and specific functional adaptations.

**Author Contributions:** Conceptualization, O.G.-S., J.S.-S. and J.T.-F.; data curation, O.G.-S. and A.M.-V.; formal analysis, O.G.-S., C.B. and E.P.; funding acquisition, J.S.-S. and E.P.; investigation, O.G.-S. and J.S.-S.; methodology, O.G.-S., J.S.-S. and J.T.-F.; project administration, J.T.-F., C.B. and E.P.; resources, O.G.-S., J.S.-S. and E.P.; supervision, J.T.-F., A.M.-V. and C.B.; validation, J.T.-F., A.M.-V. and C.B.; visualization, O.G.-S. and J.S.-S.; writing—original draft, O.G.-S. and J.S.-S.; writing—review and editing, J.T.-F., A.M.-V., C.B. and E.P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of Universidad San Jorge.

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

**Data Availability Statement:** The datasets generated and analyzed for this study can be requested by correspondence from the authors at osanchez@usj.es.

**Acknowledgments:** This work was supported by "Research fellowship Universidad San Jorge-Fundación Banco Sabadell". We acknowledge Fernando Hernández-Abad for his excellent drawings.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Gonzalo-Skok, O.; Tous-Fajardo, J.; Valero-Campo, C.; Berzosa, C.; Bataller, A.V.; Arjol-Serrano, J.L.; Moras, G.; Mendez-Villanueva, A. Eccentric-Overload Training in Team-Sport Functional Performance: Constant Bilateral Vertical Versus Variable Unilateral Multidirectional Movements. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2017**, *12*, 951–958. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Tous-Fajardo, J.; Gonzalo-Skok, O.; Arjol-Serrano, J.L.; Tesch, P. Enhancing Change-of-Direction Speed in Soccer Players by Functional Inertial Eccentric Overload and Vibration Training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2016**, *11*, 66–73. [[CrossRef](#)]
3. Contreras, B.; Vigotsky, A.D.; Schoenfeld, B.J.; Beardsley, C.; McMaster, D.T.; Reyneke, J.H.T.; Cronin, J.B. Effects of a Six-Week Hip Thrust vs. Front Squat Resistance Training Program on Performance in Adolescent Males: A Randomized Controlled Trial. *J. Strength Cond. Res.* **2017**, *31*, 999–1008. [[CrossRef](#)]
4. Abade, E.; Silva, N.; Ferreira, R.; Baptista, J.; Gonçalves, B.; Osório, S.; Viana, J. Effects of Adding Vertical or Horizontal Force-Vector Exercises to In-Season General Strength Training on Jumping and Sprinting Performance of Youth Football Players. *J. Strength Cond. Res.* **2021**, *35*, 2769–2774. [[CrossRef](#)]
5. Sannicandro, I.; Cofano, G.; Rosa, R.A.; Piccinno, A. Balance Training Exercises Decrease Lower-Limb Strength Asymmetry in Young Tennis Players. *J. Sports Sci. Med.* **2014**, *13*, 397–402.
6. Gonzalo-Skok, O.; Tous-Fajardo, J.; Suarez-Arrones, L.; Arjol-Serrano, J.L.; Casajús, J.A.; Mendez-Villanueva, A. Single-Leg Power Output and Between-Limbs Imbalances in Team-Sport Players: Unilateral Versus Bilateral Combined Resistance Training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2017**, *12*, 106–114. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Pardos-Mainer, E.; Casajús, J.A.; Bishop, C.; Gonzalo-Skok, O. Effects of Combined Strength and Power Training on Physical Performance and Interlimb Asymmetries in Adolescent Female Soccer Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2020**, *15*, 1147–1155. [[CrossRef](#)]
8. Gonzalo-Skok, O.; Moreno-Azze, A.; Arjol-Serrano, J.L.; Tous-Fajardo, J.; Bishop, C. A Comparison of 3 Different Unilateral Strength Training Strategies to Enhance Jumping Performance and Decrease Interlimb Asymmetries in Soccer Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, 1256–1264. [[CrossRef](#)]
9. Bini, R.R.; Hume, P.A. Relationship between Pedal Force Asymmetry and Performance in Cycling Time Trial. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2015**, *55*, 892–898. [[PubMed](#)]
10. Bishop, C.; Turner, A.; Read, P. Effects of Inter-Limb Asymmetries on Physical and Sports Performance: A Systematic Review. *J. Sports Sci.* **2018**, *36*, 1135–1144. [[CrossRef](#)]
11. Maloney, S.J. The Relationship Between Asymmetry and Athletic Performance: A Critical Review. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 2579–2593. [[CrossRef](#)]
12. Madruga-Parera, M.; Bishop, C.; Fort-Vanmeerhaeghe, A.; Beato, M.; Gonzalo-Skok, O.; Romero-Rodríguez, D. Effects of 8 Weeks of Isoinertial vs. Cable-Resistance Training on Motor Skills Performance and Interlimb Asymmetries. *J. Strength Cond. Res.* **2020**. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Gonzalo-Skok, O.; Sánchez-Sabaté, J.; Izquierdo-Lupón, L.; Sáez de Villarreal, E. Influence of Force-Vector and Force Application Plyometric Training in Young Elite Basketball Players. *Eur. J. Sport Sci.* **2019**, *19*, 305–314. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Suchomel, T.J.; Wagle, J.P.; Douglas, J.; Taber, C.B.; Harden, M.; Haff, G.G.; Stone, M.H. Implementing Eccentric Resistance Training-Part 1: A Brief Review of Existing Methods. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* **2019**, *4*, 38. [[CrossRef](#)]
15. Hewit, J.K.; Cronin, J.B.; Hume, P.A. Asymmetry in Multi-Directional Jumping Tasks. *Phys. Ther. Sport Off. J. Assoc. Chart. Physiother. Sports Med.* **2012**, *13*, 238–242. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Gonzalo-Skok, O.; Tous-Fajardo, J.; Suarez-Arrones, L.; Arjol-Serrano, J.L.; Casajús, J.A.; Mendez-Villanueva, A. Validity of the V-Cut Test for Young Basketball Players. *Int. J. Sports Med.* **2015**, *36*, 893–899. [[CrossRef](#)]
17. Gustavsson, A.; Neeter, C.; Thomeé, P.; Silbernagel, K.G.; Augustsson, J.; Thomeé, R.; Karlsson, J. A Test Battery for Evaluating Hop Performance in Patients with an ACL Injury and Patients Who Have Undergone ACL Reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA* **2006**, *14*, 778–788. [[CrossRef](#)]
18. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–13. [[CrossRef](#)]
19. Ardern, C.L.; Webster, K.E.; Taylor, N.F.; Feller, J.A. Return to the Preinjury Level of Competitive Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery: Two-Thirds of Patients Have Not Returned by 12 Months after Surgery. *Am. J. Sports Med.* **2011**, *39*, 538–543. [[CrossRef](#)]
20. Fort-Vanmeerhaeghe, A.; Bishop, C.; Buscà, B.; Aguilera-Castells, J.; Vicens-Bordas, J.; Gonzalo-Skok, O. Inter-Limb Asymmetries Are Associated with Decrements in Physical Performance in Youth Elite Team Sports Athletes. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0229440. [[CrossRef](#)]
21. Bishop, C.; Brashill, C.; Abbott, W.; Read, P.; Lake, J.; Turner, A. Jumping Asymmetries Are Associated With Speed, Change of Direction Speed, and Jump Performance in Elite Academy Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.* **2021**, *35*, 1841–1847. [[CrossRef](#)]
22. Madruga-Parera, M.; Romero-Rodríguez, D.; Bishop, C.; Beltran-Valls, M.R.; Latinjak, A.T.; Beato, M.; Fort-Vanmeerhaeghe, A. Effects of Maturation on Lower Limb Neuromuscular Asymmetries in Elite Youth Tennis Players. *Sports* **2019**, *7*, 106. [[CrossRef](#)]
23. Dos-Santos, T.; McBurnie, A.; Comfort, P.; Jones, P.A. The Effects of Six-Weeks Change of Direction Speed and Technique Modification Training on Cutting Performance and Movement Quality in Male Youth Soccer Players. *Sports* **2019**, *7*, 205. [[CrossRef](#)]



24. de Hoyo, M.; Gonzalo-Skok, O.; Sañudo, B.; Carrascal, C.; Plaza-Armas, J.R.; Camacho-Candil, F.; Otero-Esquina, C. 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*, 368–377. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Rodríguez-Rosell, D.; Franco-Márquez, F.; Pareja-Blanco, F.; Mora-Custodio, R.; Yáñez-García, J.M.; González-Suárez, J.M.; González-Badillo, J.J. Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2016**, *11*, 240–246. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Freitas, T.T.; Martinez-Rodriguez, A.; Calleja-González, J.; Alcaraz, P.E. Short-Term Adaptations Following Complex Training in Team-Sports: A Meta-Analysis. *PLoS ONE* **2017**, *12*, e0180223. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Meylan, C.; McMaster, T.; Cronin, J.; Mohammad, N.I.; Rogers, C.; Deklerk, M. Single-Leg Lateral, Horizontal, and Vertical Jump Assessment: Reliability, Interrelationships, and Ability to Predict Sprint and Change-of-Direction Performance. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1140–1147. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Gonzalo-Skok, O.; Tous-Fajardo, J.; Arjol-Serrano, J.L.; Suarez-Arrones, L.; Casajús, J.A.; Mendez-Villanueva, A. Improvement of Repeated-Sprint Ability and Horizontal-Jumping Performance in Elite Young Basketball Players With Low-Volume Repeated-Maximal-Power Training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2016**, *11*, 464–473. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Askling, C.; Karlsson, J.; Thorstensson, A. Hamstring Injury Occurrence in Elite Soccer Players after Preseason Strength Training with Eccentric Overload. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2003**, *13*, 244–250. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. de Hoyo, M.; de la Torre, A.; Pradas, F.; Sañudo, B.; Carrasco, L.; Mateo-Cortes, J.; Domínguez-Cobo, S.; Fernandes, O.; Gonzalo-Skok, O. Effects of Eccentric Overload Bout on Change of Direction and Performance in Soccer Players. *Int. J. Sports Med.* **2015**, *36*, 308–314. [[CrossRef](#)]
31. Los Arcos, A.; Yanci, J.; Mendiguchia, J.; Salinero, J.J.; Brughelli, M.; Castagna, C. Short-Term Training Effects of Vertically and Horizontally Oriented Exercises on Neuromuscular Performance in Professional Soccer Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2014**, *9*, 480–488. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. López-Segovia, M.; Palao Andrés, J.M.; González-Badillo, J.J. Effect of 4 Months of Training on Aerobic Power, Strength, and Acceleration in Two under-19 Soccer Teams. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 2705–2714. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. de Hoyo, M.; Sañudo, B.; Carrasco, L.; Domínguez-Cobo, S.; Mateo-Cortes, J.; Cadenas-Sánchez, M.M.; Nimphius, S. Effects of Traditional Versus Horizontal Inertial Flywheel Power Training on Common Sport-Related Tasks. *J. Hum. Kinet.* **2015**, *47*, 155–167. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Brughelli, M.; Cronin, J.; Levin, G.; Chaouachi, A. Understanding Change of Direction Ability in Sport: A Review of Resistance Training Studies. *Sports Med.* **2008**, *38*, 1045–1063. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Núñez, F.J.; Santalla, A.; Carrasquilla, I.; Asian, J.A.; Reina, J.I.; Suarez-Arrones, L.J. The Effects of Unilateral and Bilateral Eccentric Overload Training on Hypertrophy, Muscle Power and COD Performance, and Its Determinants, in Team Sport Players. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0193841. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Suarez-Arrones, L.; Saez de Villarreal, E.; Núñez, F.J.; Di Salvo, V.; Petri, C.; Buccolini, A.; Maldonado, R.A.; Torreno, N.; Mendez-Villanueva, A. In-Season Eccentric-Overload Training in Elite Soccer Players: Effects on Body Composition, Strength and Sprint Performance. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0205332. [[CrossRef](#)]



---

Artículo 3. Influence of vertical-oriented vs.  
horizontal-oriented combined strength training in  
young basketball players

**Jorge Sánchez-Sabaté <sup>1,\*</sup>; Héctor Gutiérrez <sup>1</sup>; Luis Alberto  
Marco-Contreras <sup>1</sup>; Omar Younes-Egana <sup>2</sup>; Oliver Gonzalo-  
Skok <sup>3,\*</sup>; Eduardo Piedrafita <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidad San Jorge. Autov. A-23 km 299. Villanueva de Gállego, Zaragoza. Spain

<sup>2</sup> Club Baloncesto Peñas Huesca, Zaragoza, Spain.

<sup>3</sup> Department of Communication and Education. Universidad Loyola Andalucía. Sevilla,  
Spain.

The Journal of Strength and Conditioning Research

Editorial: Lippincott Williams & Wilkins. 2024 Apr 9

DOI: 10.1519/JSC.0000000000004771

---

# **RESUMEN DE RESULTADOS**



## 5. RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 1. Resumen de los principales resultados obtenidos en los estudios experimentales

| ARTÍCULO   | RESULTADOS   |
|--|--|
| <p>Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players</p>         | <p>Las diferencias intra-grupo mostraron mejoras sustanciales (TE = 0,31–1,01) en el salto vertical y horizontal unilateral y el test V-cut después de ambas intervenciones de entrenamiento. Además, el grupo UH también mejoró sustancialmente (TE = 0,33–0,78) todos los tiempos de <i>sprint</i>. Los análisis inter-grupo mostraron mejoras sustancialmente mayores (TE = 0,33) en la prueba de 10-m y el test V-cut a favor del grupo UH en comparación con el grupo BV. El efecto beneficioso probable (TE pequeño) logrado en las habilidades de <i>sprint</i> sugiere la combinación de saltos unilaterales-horizontales para mejorar habilidades ejecutadas en un eje posteroanterior como el <i>sprint</i>.</p>   |
| <p>Effects of Direction-Specific Training Interventions on Physical Performance and Inter-Limb Asymmetries</p>       | <p>El análisis intra-grupo mostró mejoras sustanciales en casi todas las pruebas funcionales en ambos grupos (TE = 0,35–0,89). El análisis inter-grupo mostró un rendimiento sustancial y posiblemente mejor en el <i>sprint</i> lineal 5-m en VUH comparado con el de VUL. En contraste, el salto lateral con la pierna izquierda (TE = 1,22) y la pierna derecha (TE = 0,49) fueron sustancialmente mayores en VUL que en VUH. Los programas de entrenamiento específicos de vectores de fuerza indujeron mejoras sustanciales en las pruebas de rendimiento funcional, aunque las adaptaciones obtenidas en las variables unilaterales con direccionalidad lateral y horizontal pueden depender de la direccionalidad de aplicación de fuerza específica que se enfoque el entrenamiento.</p> |
| <p>Influence of vertical-oriented vs. horizontal-oriented combined strength training in young basketball players</p> | <p>Las diferencias intra-grupo mostraron mejoras significativas en el salto vertical unilateral con la pierna derecha después de ambas intervenciones de entrenamiento (TE = 1,23-1,59). En contraste, solo CHG mejoró el salto vertical unilateral con la pierna izquierda (TE = 1,10) y los tiempos de <i>sprint</i> de 5-m, 10-m y 20-m (TE = 1,25-2,09). Se observaron efectos significativos para CHG en comparación con CVG en los tiempos de <i>sprint</i> de 5-m, 10-m y 20-m (TE = 1,60-2,10). Este estudio refuerza la importancia del entrenamiento de fuerza basado en la especificidad de la direccionalidad de aplicación de fuerza, principalmente en acciones orientadas horizontalmente.</p>  |



# **DISCUSIÓN GENERAL**





## 6. DISCUSIÓN GENERAL

El objetivo general de este trabajo científico ha sido analizar la influencia de la direccionalidad de aplicación de fuerza sobre diferentes métodos de entrenamiento en variables funcionales del rendimiento físico, como son la capacidad de salto, el *sprint* y el COD. Para ello, se han llevado a cabo tres estudios experimentales donde se han comparado dos protocolos de entrenamiento con direccionalidades de aplicación de fuerza distintas en cada uno de ellos, habiendo utilizado los métodos pliométrico (BV: vertical vs. UH: horizontal), excéntrico (VUL: lateral vs. VUH: horizontal) y combinado (CVG: vertical vs. CHG: horizontal). A continuación, se realiza una discusión general de los resultados obtenidos analizando que ha ocurrido con cada una de las variables evaluadas por separado.

El salto vertical es una acción frecuente realizada por jugadores de baloncesto como parte de maniobras defensivas (por ejemplo, bloquear, recuperar y robar) y ofensivas (por ejemplo, pasar, recuperar y lanzar) durante el entrenamiento y la competición (1). El tamaño del efecto obtenido tras la intervención de entrenamiento pliométrico en la variable CMJ fue pequeño en ambos grupos (TE = 0,18-0,34), solo siendo significativa la mejora obtenida en UH. Esta tendencia es contraria a algunos estudios previos donde sí se mostró una mejora significativa de la capacidad de salto vertical bilateral en escolares prepuberales en la variable SJ (TE = 0,77) y en jugadores adultos de baloncesto en el salto Abalakov (TE = 0,29-0,39), tras un protocolo de fuerza pliométrico multidireccional de 6 semanas de duración (2,3). La diferencia de resultados entre investigaciones podría deberse al tipo de saltos ejecutados en los programas de entrenamiento, dado que la especificidad en la ejecución técnica puede ser clave en este tipo de adaptaciones. Además, los artículos citados presentaban protocolos de entrenamiento compuestos por ejercicios ejecutados tanto en direccionalidad vertical como en horizontal, por lo que el bagaje técnico propuesto a los jugadores fue mayor que cuando se diseña un entrenamiento en una sola direccionalidad de movimiento.

Tras la aplicación de los protocolos de entrenamiento excéntrico, ni VUH ni VUL mejoraron sustancialmente el rendimiento en el salto vertical bilateral (TE = 0,12-0,18), lo cual está en desacuerdo con estudios previos que usaron otros programas de entrenamiento con sobrecarga excéntrica (TE = 0,42-0,58) en deportistas de equipo sin experiencia previa en el uso de dispositivos inerciales (4). Además, la literatura concerniente a jugadores de deportes de equipo ha reportado mejoras

considerablemente mayores en CMJ bilateral después de diferentes estrategias de entrenamiento, como por ejemplo: entrenamiento tradicional en futbolistas profesionales (5), entrenamiento pliométrico en futbolistas profesionales (5), entrenamiento CNT en jóvenes jugadores de fútbol y baloncesto (6,7), o CPX en deportistas de equipo (8) ( $TE = 0,27-0,71$ ). Mientras que la vasta mayoría de ejercicios realizados durante las intervenciones mencionadas estaban compuestos por ejercicios bilaterales ejecutados en el vector de fuerza axial, la intervención actual incluyó solo ejercicios unilaterales ejecutados en el plano horizontal o lateral. Por lo tanto, no está claro si el vector de fuerza o la naturaleza bilateral-unilateral de los ejercicios podría estar detrás de esas diferencias entre estudios en el rendimiento de CMJ. Parece relevante tener en cuenta la correspondencia dinámica de cara a diseñar programas de entrenamiento con el objetivo de mejorar el salto vertical bilateral, dado que la ejecución de ejercicios muy dispares podría no conllevar una mejora de su rendimiento.

Añadido a esto, el entrenamiento de fuerza combinado tampoco mostró mejoras significativas en CMJ para CHG o CVG ( $p > 0,05$ ). De nuevo, estos resultados están en desacuerdo con la literatura previa, que mostró obtener mejoras significativas en el CMJ tras un protocolo de entrenamiento combinado de la fuerza ( $TE = 0,50$ ) en estudiantes del grado de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte comprendidos en edades entre 20 y 29 años (9). Aunque el estudio de este proyecto no mostró efectos significativos en la variable CMJ ( $p > 0,05$ ), sí que reportó tamaños del efecto grandes ( $TE = 0,71-0,75$ ), alineados con estudios previos que utilizaron protocolos de entrenamiento de fuerza combinado ( $TE = 0,48-0,96$ ) en jóvenes en edad escolar, jóvenes jugadores de baloncesto y deportistas de equipo (3,10,11). Los componentes de la carga de entrenamiento pueden ser el factor clave que explique la diferencia entre estudios, dado que los trabajos mencionados exponen una mayor intensidad o volumen de entrenamiento que el protocolo de entrenamiento combinado de este trabajo. Un ajuste en estos componentes podría ser la solución para brindar al deportista el estímulo óptimo que produzca adaptaciones funcionales.

Tomando como referencia estos resultados, parece ser que la variable CMJ no obtiene adaptaciones significativas en ninguno de los estudios experimentales propuestos, independientemente de la direccionalidad de aplicación de fuerza predominante. Si bien es cierto que muestra cambios positivos en el tamaño del efecto de todas las intervenciones, solo el grupo UH del protocolo pliométrico obtiene mejoras significativas. Estos hallazgos están alineados entre los tres artículos, pero en contra de toda la

literatura científica expuesta anteriormente. Una posible explicación de estos resultados podría estar relacionada con la disciplina deportiva de los sujetos que sirvieron de muestra para estos estudios. Un jugador de baloncesto de alto nivel ejecuta alrededor de un salto vertical por cada minuto de juego a diferentes intensidades, lo que le lleva a tener una biomecánica del salto más optimizada que otros deportistas de equipo. A su vez, esto implica que su umbral de adaptación para este tipo de acciones sea más alto que sus homólogos de otras disciplinas, ya que adaptaciones neurales como la coordinación intramuscular (activación de la musculatura agonista) o la coordinación intermuscular (inhibición de la musculatura antagonista o coactivación de la musculatura sinergista), son las primeras adaptaciones que el deportista consigue y con las que mejora la habilidad técnica de gestos específicos. Quizá se necesiten establecer programas de entrenamiento de mayor duración, carga o especificidad de los ejercicios planteados para conseguir adaptaciones significativas en el CMJ en jóvenes jugadores de baloncesto altamente entrenados.

Dos variables que presentan una direccionalidad de aplicación de fuerza común al CMJ bilateral son CMJL y CMJR, aunque su naturaleza de aplicación de fuerza unilateral plantea ciertas diferencias que se deben tener en cuenta. El protocolo de entrenamiento pliométrico manifestó mejoras significativas en el CMJ unilateral entre el pre-test y el post-test tanto para el grupo BV (TE = 0,44-0,79) como para UH (TE = 0,50-0,61). Estas mejoras concuerdan con las expuestas en estudios previos (1,12,13), mostrando que diferentes ejercicios de entrenamiento orientado pliométrico (horizontal, vertical, o combinado) pueden aumentar significativamente el rendimiento de la capacidad de salto. Como la capacidad de salto vertical mejoró sustancialmente en ambos grupos, con mejoras aún mayores en BV en CMJR y en UH en el rendimiento del CMJL, parece que las mejoras en el salto podrían estar relacionadas con el nivel de activación neuromuscular (factores neurales) y coordinación motora en respuesta al entrenamiento pliométrico específico, en vez de en la especificidad de la direccionalidad de aplicación de fuerza, al menos en la muestra actual de jóvenes jugadores de baloncesto. Sin embargo, estudios previos en otras modalidades deportivas han mostrado que no hay mejoras en el salto vertical después del entrenamiento de orientación horizontal o vertical utilizando diferentes velocidades de contracción (14,15). Las diferencias entre los estudios podrían atribuirse a varias razones, como, por ejemplo: diferencias en la duración del programa de entrenamiento (el estudio actual duró solo 6 semanas, 12 sesiones); la intensidad de la carga y volumen utilizado en los estudios citados; la

especificidad del entrenamiento (unilateral o bilateral); el nivel competitivo de los deportistas; o las diferencias en la historia previa de entrenamiento de fuerza orientado.

Por otro lado, la intervención de entrenamiento excéntrico también mejoró sustancialmente la variable CMJ unilateral en el grupo VUL (TE = 0,19-0,35) y VUH (TE = 0,51-0,62), excepto para la variable CMJR en el grupo VUL (TE = 0,19). Estos resultados están en línea con aquellos encontrados después del entrenamiento excéntrico vertical-bilateral constante (TE = 0,45-0,47) o multidireccional-unilateral variable (TE = 0,27-0,39) realizado con una polea cónica (4). Así, parece que el entrenamiento unilateral realizado en otros vectores de fuerza tiene el potencial de mejorar el rendimiento en el salto vertical con una sola pierna.

Analizando los resultados obtenidos a través del método combinado, se observaron mejoras significativas en ambos grupos para CMJL y CMJR. Específicamente, el CHG obtuvo un tamaño del efecto grande y significativo en CMJL (TE = 1,10) y CMJR (TE = 1,23), mientras que CVG también obtuvo tamaños del efecto grande en CMJL (TE = 0,80) y CMJR (TE = 1,59), siendo significativo solo este último. Estos resultados podrían sugerir que la direccionalidad de aplicación de fuerza vertical y horizontal mejoraron el rendimiento unilateral en el salto vertical. Un meta-análisis reciente ha respaldado el hallazgo previo, reportando un efecto trivial en el análisis intergrupo (vertical vs. horizontal) para el salto vertical (16). Por otro lado, Arede et al. no encontraron efectos significativos en la habilidad de salto unilateral (TE= 0,61-0,74) después del entrenamiento de fuerza en jugadores de baloncesto masculinos comprendidos entre 15 y 23 años (17). Existen diferencias aparentes entre la investigación de Arede et al. y el estudio actual, dadas las variaciones en la carga de los programas de entrenamiento, las edades de los participantes y las direccionalidades de aplicación de fuerza utilizadas. Por lo tanto, se podría esperar que los resultados fueran diferentes.

Varios investigadores sostienen que el vector de fuerza axial permite a los atletas generar una fuerza incrementada durante saltos horizontales y verticales (18). Esto es porque la aplicación de fuerza horizontal necesita una salida significativa de fuerza axial para contrarrestar la gravedad durante los saltos horizontales (16). Como resultado, los atletas que se someten a protocolos de entrenamiento horizontal pueden ver mejoras en sus acciones verticales y viceversa (16). Sin embargo, parece de vital importancia destacar que este tipo de adaptaciones solo se producen en variables unilaterales como son el CMJR y CMJL, pero no en el CMJ bilateral. Los resultados actuales reafirman que un programa de entrenamiento horizontal unilateral afecta a la habilidad del salto vertical

unilateral de manera similar a un programa vertical bilateral, dejando al margen la influencia de la direccionalidad de aplicación de fuerza.

No obstante, profundizando en mayor medida en estos resultados, parece que los protocolos bilaterales producen adaptaciones más dispares entre extremidades (dominante vs. no dominante), mientras que los protocolos unilaterales provocan un efecto similar entre miembros en las variables CMJL y CMJR. Algunas investigaciones han informado de que durante el entrenamiento de sentadilla bilateral, la asimetría en la fuerza de reacción vertical contra el suelo es significativamente diferente entre ambas piernas (4,3%) al comienzo de una serie. Además, esta magnitud dada por la diferencia porcentual entre las piernas izquierda y derecha en la fuerza de reacción vertical contra el suelo implica que la pierna dominante mantenga una mayor producción de fuerza al final de una serie en sujetos asimétricos (19). Esto significa, a efectos prácticos, que un deportista que aplica fuerza solo de manera bilateral durante un protocolo de entrenamiento corre el riesgo de que su extremidad más fuerte o dominante aplique más fuerza que la débil o no dominante y, por lo tanto, estimule de diferente manera ambas extremidades. Sin embargo, cuando un deportista se somete a un protocolo de entrenamiento donde la fuerza se aplica de manera unilateral, está sometiendo a sus dos extremidades al mismo esfuerzo, disminuyendo así el riesgo de producir adaptaciones neuromusculares dispares (6).

Los saltos unilaterales horizontales y laterales han estado de moderada a ampliamente relacionados con el rendimiento en el *sprint* lineal y el cambio de dirección (COD), respectivamente (20). Todos los estudios experimentales que este proyecto de investigación presenta evaluaron los saltos horizontales unilaterales, pero solo el estudio de entrenamiento excéntrico evaluó los saltos laterales.

El protocolo de entrenamiento pliométrico mostró mejoras significativas en el salto horizontal unilateral para el grupo BV (TE = 0,45-0,52) y para el grupo UH (TE = 0,31-0,48) entre el pre-test y el post-test. Estas mejoras están alineadas con la literatura citada anteriormente (1,12,13), corroborando de nuevo como el entrenamiento pliométrico orientado puede producir adaptaciones significativas sobre la capacidad de salto. Puesto que estas mejoras se obtuvieron en ambos grupos, se vuelven a identificar como responsables del aumento de rendimiento a las adaptaciones neurales generales, restando importancia a la influencia de la direccionalidad de movimiento en este tipo de variables funcionales.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos tras la intervención con el método excéntrico en HJL y HJR tanto para VUL (TE = 0,43-0,44) como para VUH (TE = 0,50-0,80), al mismo tiempo que con estudios previos de entrenamiento que han reportado efectos de pequeños a moderados (TE = 0,38-0,65) (21). Comparando las mejoras obtenidas entre los grupos VUL y VUH, se observa que la inclusión de algunos ejercicios en el programa de entrenamiento VUL (por ejemplo, *lateral crossover step* y *lunge 90°*), donde la direccionalidad de aplicación de fuerza anteroposterior/posteroanterior también fue estimulada, puede haber contribuido a la falta de diferencias significativas entre grupos en el salto horizontal. No obstante, se corrobora que el grupo VUH obtuvo mayores tamaños del efecto en las variables HJL y HJR, sustentando así la influencia en la direccionalidad de aplicación de fuerza sobre los saltos horizontales unilaterales.

Por otro lado, ambos protocolos de entrenamiento excéntrico mostraron mejoras significativas en LJL y LJR (TE = 0,46-0,89), siendo el grupo VUL el que mostró mayores adaptaciones en dichas variables. Pocos estudios han analizado el efecto del entrenamiento excéntrico sobre el salto lateral (4,22), logrando mejoras sustanciales en LJ en ambos estudios (TE = 0,24-0,87), aunque obtuvo un mayor rendimiento el protocolo multidireccional que incluía movimientos laterales y horizontales en comparación con el que incluía movimientos verticales. Estos resultados respaldan la noción de que la direccionalidad de aplicación de fuerza podría ser un factor clave para desarrollar adaptaciones específicas en el salto lateral unilateral, ya que el grupo de entrenamiento lateral no trabajó el plano frontal en ningún momento, por lo que la especificidad del trabajo realizado en dicho plano fue la única posible causa de tales adaptaciones.

En última instancia, CHG mostró mayor tamaño del efecto para HJL (TE = 0,92) y HJR (TE = 0,62) en comparación con CVG (TE = 0,37-0,45) tras un protocolo de entrenamiento de fuerza combinado, aunque la significancia y la potencia estadística no fueron adecuadas ( $p > 0,05$ ). Esto podría estar en línea con resultados previos (2,18,23), que encontraron un mayor incremento en el rendimiento del salto horizontal para el grupo de entrenamiento horizontal pliométrico (TE = -0,15 a 1,67), y tradicional (TE = 0,02-1,00); comparado con el grupo de entrenamiento vertical pliométrico (TE = -0,73 a 0,94), y tradicional (TE = 0,17-0,76). Los protocolos de entrenamiento que incorporan ejercicios orientados a mejorar acciones horizontales (por ejemplo, el empuje de cadera), intensifican la tensión muscular de la cadera y aumentan la actividad electromiográfica, lo cual es crucial en movimientos de dirección anteroposterior (23).

Por otro lado, Contreras et al. (18) también observaron mejoras en HJ durante una intervención de entrenamiento vertical. Se argumenta que el vector de fuerza axial de la sentadilla frontal podría ayudar a los participantes a generar una mayor fuerza vertical durante un salto, lo cual es esencial tanto para los saltos horizontales como verticales. Nuestros resultados subrayan el principio de especificidad, ya que el grupo que exhibió un rendimiento mejorado en HJ entrenó en alineación con la misma dirección de aplicación de fuerza.

Las adaptaciones producidas por protocolos de entrenamiento vertical parecen no ser suficientes para igualar los efectos de protocolos de entrenamiento horizontal con el objetivo de mejorar variables funcionales de salto multidireccional. Estos resultados demuestran que para optimizar en mayor medida este tipo de variables, como son HJ unilaterales y LJ unilaterales, es necesario programar protocolos de entrenamiento teniendo en cuenta la direccionalidad de aplicación de fuerza de la variable funcional que se quiera optimizar.

La habilidad para *sprintar* es una habilidad compleja influenciada por varios factores, incluyendo la fuerza muscular, la potencia, la velocidad y la técnica (24). La investigación en ciencias del deporte indica una clara relación entre el entrenamiento de fuerza y el rendimiento en el *sprint* (3,10,11).

Los resultados de esta investigación sugirieron que el protocolo de entrenamiento pliométrico UH puede mejorar el rendimiento en el *sprint* (5, 10 y 25 m) (TE = 0,30–0,78). Varios estudios han sugerido que el entrenamiento pliométrico puede mejorar la capacidad de *sprint*, porque el uso de ciclos de estiramiento-acortamiento durante ejercicios pliométricos ha demostrado tener una relación significativa con la disminución de los tiempos de contacto de esta variable funcional (25). Estos hallazgos están en línea con estudios previos que mostraron que un programa de intervención pliométrico provocó adaptaciones significativas en el *sprint* (26), pese a plantear ejercicios en su programa de entrenamiento que combinaban aplicación bilateral y unilateral de fuerza. En contraste con los resultados del presente estudio, Reymont et al. encontraron que el entrenamiento pliométrico no inducía reducciones significativas en los tiempos de *sprint* de 40 yardas (27). Las razones de esta diferencia podrían deberse a una frecuencia, volumen y período de entrenamiento muy bajos, o incluso a la diferencia en las distancias de los test encargados de evaluar el rendimiento. La presente investigación sugiere mejoras significativas en el tiempo de *sprint* de 5, 10 y 25 m después de 6 semanas de intervención pliométrica unilateral-horizontal. Morin et al. demostraron que aquellos



individuos familiarizados con la ejecución de acciones horizontales, como por ejemplo el *sprint*, manifestaban mayor cantidad de fuerza de reacción horizontal contra el suelo debido a que eran capaces de producir una mayor activación de sus músculos isquiotibiales antes del contacto con el suelo como de tener mayor capacidad para producir torque excéntrico en dicha musculatura (28). Parece que la exposición a acciones similares a la biomecánica del *sprint*, como son los saltos unilaterales-horizontales, podría ser la responsable de lograr la mejora en la capacidad de *sprint* lineal a través de una mayor correspondencia dinámica con el patrón motor del *sprint* en comparación con los saltos verticales bilaterales (29). Por lo tanto, estos resultados podrían respaldar la importancia de la direccionalidad de aplicación de fuerza para mejorar variables funcionales como el *sprint* lineal.

Durante la intervención de entrenamiento excéntrico, solo el grupo VUH logró una mejora sustancial en el *sprint* de 5 m, no obteniendo mejoras significativas en ninguna otra distancia de *sprint* lineal en ambos grupos. Como ocurrió en investigaciones previas (4), los ejercicios seleccionados se centraron en los primeros pasos de los movimientos y, por lo tanto, se esperarían mejores resultados en la fase inicial de un *sprint* lineal debido a la similitud de los tiempos de contacto con el suelo. Así, el tamaño del efecto alcanzado en 5 m ( $TE = 0,50$ ) fue bastante similar al obtenido tras un protocolo de entrenamiento excéntrico con énfasis en la aplicación de fuerza multidireccional unilateral ( $TE = 0,54$ ) (4). Sin embargo, el resto de los resultados de *sprint* lineal (10, 20 y 25 m) no están alineados con los encontrados después de diferentes programas de sobrecarga excéntrica ( $TE = 0,10-0,80$ ) (30–32), mientras que los programas tradicionales de entrenamiento de fuerza vertical-horizontal han reportado resultados ligeramente inferiores ( $TE = 0,19-0,24$ ) (33,34). Las diferencias entre estudios podrían deberse al volumen de entrenamiento realizado, el momento de la temporada o la experiencia previa de entrenamiento de los participantes con sistemas inerciales. La sobrecarga excéntrica obtenida a través de sistemas inerciales puede estar afectada por el nivel de ejecución técnica del sujeto que los utilice, produciendo así cierta desventaja adaptativa hacia deportistas que nunca hayan entrenado con ellos previamente.

Por último, tras analizar los resultados obtenidos a través de la intervención de entrenamiento de fuerza combinado, CHG mostró tamaños de efecto grandes en el *sprint* de 5 m ( $TE = 2,32$ ), 10 m ( $TE = 1,85$ ), y 20 m ( $TE = 1,77$ ), en comparación con el CVG que no obtuvo cambios positivos en ningunas de las variables. Las mejoras observadas están en línea con investigaciones previas que sugieren que el entrenamiento de fuerza

combinado puede tener un impacto positivo en el rendimiento del *sprint* (TE = 0,42-0,59) (35), siendo los programas compuestos por ejercicios con direccionalidad de aplicación de fuerza horizontal los que parecen tener una mayor transferencia hacia acciones específicas que compartan dicha direccionalidad, como es el caso de la variable del *sprint* (TE = 0,67-1,61) (18). Este estudio es consistente con estas investigaciones, ya que ambos subrayan la importancia de la potencia muscular en la mejora del rendimiento del *sprint* de corta distancia. Los mecanismos subyacentes que probablemente estén involucrados en esta adaptación son la mejora de la eficiencia neuromuscular y la dirección de la resultante de la fuerza aplicada (18), lo que lleva a un aumento en la longitud y frecuencia de zancada, ambos determinantes clave de la velocidad de *sprint* (36). Sin embargo, también existe evidencia opuesta a estos resultados. Aztarain-Cardiel et al. (2), no encontraron mejoras sustanciales en el rendimiento de *sprint* después de un protocolo de entrenamiento pliométrico horizontal de 6 semanas en jugadores de baloncesto. La divergencia entre sus hallazgos y esta investigación puede atribuirse a varios factores. Por un lado, el nivel deportivo de los jugadores podría ser un factor contribuyente: los deportistas adultos de alto nivel pueden estar ya cerca de su pico de rendimiento máximo, haciendo que la capacidad de adaptación sea menor. Además, la naturaleza específica del entrenamiento (pliométrico vs. combinado) y el volumen total de entrenamiento mostraron ser diferentes entre los dos estudios, explicando potencialmente los diferentes resultados. Es importante resaltar que para mejorar el *sprint* lineal en adolescentes postpuberales, además de la direccionalidad de movimiento, es clave utilizar una estrategia de entrenamiento combinado ya que muestra ser más efectiva que una sola estrategia de entrenamiento (37,38).

Estos hallazgos parecen dejar claro que existe una clara influencia entre la direccionalidad de aplicación de fuerza durante los protocolos de entrenamiento pliométrico o combinado y el rendimiento en el *sprint* lineal. La semejanza entre los patrones de movimiento entrenados y los evaluados parece tener mayor importancia en variables funcionales que tienen mayor énfasis en la direccionalidad horizontal.

La habilidad de cambio de dirección, que denota la capacidad para modificar rápidamente la trayectoria del movimiento, es ampliamente reconocida en la literatura como un determinante crucial del rendimiento en los deportes de equipo (39), incluyendo el baloncesto (40). Estudios previos en jugadores de baloncesto han utilizado diferentes distancias para evaluar la capacidad de cambiar de dirección rápidamente (41). Sin

embargo, los test de cambio de dirección 180° unilateral y el test V-cut parecen ser dos de las opciones más relevantes para evaluar la calidad específica de COD en baloncesto debido a la alta frecuencia de *sprints* cortos de alta intensidad durante un partido y la especificidad del dribbling (42). Los hallazgos del estudio de entrenamiento pliométrico son positivos en el test V-cut (TE = 0,35–1,01). Los resultados encontrados en el grupo unilateral-horizontal en el test V-cut (TE = 1,01) están en línea con los proporcionados en un meta-análisis reciente que evaluaba los efectos del entrenamiento pliométrico sobre la capacidad de cambio de dirección, y mostraba un efecto grande con un TE de 0,96 (43). Sin embargo, los resultados logrados después del entrenamiento bilateral-vertical fueron considerablemente más bajos (TE = 0,35). La diferencia entre grupos podría deberse a los ejercicios realizados durante la intervención, respaldando la importancia de aplicar la fuerza en la dirección que se pretende mejorar. Por otro lado, el COD 180° obtuvo resultados triviales en ambos grupos (TE = 0,03-0,09). Esto podría explicarse por las diferencias biomecánicas existentes entre los test (distancia cubierta, ángulos de COD, número de COD), siendo estos los factores clave para mostrar diferentes resultados. Hay una relación significativa entre el *sprint* lineal y el test V-cut, ya que este tipo de COD no requiere fuerzas fuertes de frenado y propulsión, por lo que los determinantes de estos dos protocolos permanecen bastante similares (44). Por el contrario, al comparar el *sprint* lineal o el test V-cut con ángulos más amplios (90°-180°), los ángulos más amplios requieren que los jugadores adapten una postura inclinada lateralmente en un esfuerzo por aplicar suficiente fuerza lateral al suelo para cambiar de dirección exitosamente a alta velocidad (44). Por tanto, parece que la especificidad en la direccionalidad de aplicación de fuerza en el entrenamiento pliométrico es un factor clave para alcanzar adaptaciones específicas en la direccionalidad de movimiento que se desea mejorar.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos tras un protocolo de entrenamiento excéntrico, ambos programas de entrenamiento indujeron mejoras sustanciales en el rendimiento de COD 180°. Sin embargo, el grupo VUH obtuvo mejores adaptaciones (TE = 0,55-0,85) en el test COD 180° en comparación con las del grupo VUL (TE = 0,51-0,56). Prestando atención al contenido del entrenamiento, solo hay dos estudios que han incluido un programa de sobrecarga excéntrica similar (4,45). Uno de ellos fue bastante similar al protocolo actual (es decir, multidireccional unilateral variable) (4), y los resultados están dentro del TE reportado (TE = 0,54-0,61) en el test que incluyó el mismo número de giros (es decir, 1 COD) y distancia recorrida (es decir, 10 m). Vale la pena señalar que los principales determinantes en la capacidad de COD son el *sprint*

lineal, la fuerza excéntrica, la técnica y la antropometría (39). Por tanto, cabría esperar los resultados obtenidos ya que solo el grupo VUH mejoró uno de los componentes mencionados (*sprint* lineal 5 m). Esta mejora del *sprint* lineal 5 m lograda en VUH podría estar relacionada con la sobrecarga excéntrica producida en el *lunge* hacia adelante y *lunge* hacia atrás (biomecánica similar a la frenada de COD 180° en la misma posición), siendo la responsable de las las diferencias entre grupos en el TE medio de COD 180° (VUH vs. VUL).

Por otro lado, el test V-cut no mejoró sustancialmente en ningún grupo, lo cual está alineado con un estudio que incluyó una prueba de COD similar (4 ángulos de corte de 100° a lo largo de 20 m) después de un programa de entrenamiento de seis semanas realizando de cinco a ocho series de un único ejercicio horizontal (paso frontal) en el polea cónica (45). A priori, consideramos que esta prueba está más relacionada con los movimientos laterales/rotacionales que con los movimientos horizontales. De hecho, se lograron ganancias sustanciales en el test V-cut (TE = 1,22) después de un programa de sobrecarga excéntrica combinado lateral/rotacional + vibraciones en jóvenes futbolistas (30).

Los cambios en el rendimiento de COD tras el entrenamiento de fuerza combinado fueron menos pronunciados que los anteriores. No se encontraron cambios significativos intragrupo en CODL, CODR y V-cut para ninguno de los grupos. A pesar de la falta de mejoras significativas en el rendimiento de COD, se debe notar que la literatura previa sobre los efectos del entrenamiento de fuerza en la habilidad de COD es mixta. Algunos estudios han reportado mejoras en el rendimiento de COD después del entrenamiento combinado de fuerza y potencia (11,46,47), mientras que otros no han encontrado efectos significativos (10). Nuestros hallazgos se alinean con estos últimos estudios, sugiriendo que los métodos de entrenamiento empleados en este estudio pueden ser menos efectivos para mejorar el rendimiento de COD. Investigaciones futuras podrían explorar diferentes métodos de entrenamiento o enfoques para optimizar el rendimiento de COD.



## Referencias

1. Ziv G, Lidor R. Vertical jump in female and male basketball players--a review of observational and experimental studies. *J Sci Med Sport*. 2010 May;13(3):332–9.
2. Aztarain-Cardiel K, López-Laval I, Marco-Contreras LA, Sánchez-Sabaté J, Garatachea N, Pareja-Blanco F. Effects of Plyometric Training Direction on Physical Performance in Basketball Players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2023 Feb 1;18(2):135–41.
3. Lloyd RS, Radnor JM, De Ste Croix MBA, Cronin JB, Oliver JL. Changes in Sprint and Jump Performances After Traditional, Plyometric, and Combined Resistance Training in Male Youth Pre- and Post-Peak Height Velocity. *J Strength Cond Res*. 2016 May;30(5):1239–47.
4. Gonzalo-Skok O, Tous-Fajardo J, Valero-Campo C, Berzosa C, Bataller AV, Arjol-Serrano JL, et al. Eccentric-Overload Training in Team-Sport Functional Performance: Constant Bilateral Vertical Versus Variable Unilateral Multidirectional Movements. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017 Aug;12(7):951–8.
5. de Hoyo M, Gonzalo-Skok O, Sañudo B, Carrascal C, Plaza-Armas JR, Camacho-Candil F, et al. 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 Feb;30(2):368–77.
6. Gonzalo-Skok O, Tous-Fajardo J, Suarez-Arrones L, Arjol-Serrano JL, Casajús JA, Mendez-Villanueva A. Single-Leg Power Output and Between-Limbs Imbalances in Team-Sport Players: Unilateral Versus Bilateral Combined Resistance Training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017 Jan;12(1):106–14.
7. Rodríguez-Rosell D, Franco-Márquez F, Pareja-Blanco F, Mora-Custodio R, Yáñez-García JM, González-Suárez JM, et al. Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016 Mar;11(2):240–6.
8. Freitas TT, Martinez-Rodriguez A, Calleja-González J, Alcaraz PE. Short-term adaptations following Complex Training in team-sports: A meta-analysis. *PLoS One*. 2017;12(6):e0180223.
9. Pareja-Blanco F, Asián-Clemente JA, Sáez de Villarreal E. Combined Squat and Light-Load Resisted Sprint Training for Improving Athletic Performance. *J Strength Cond Res*. 2021 Sep 1;35(9):2457–63.
10. Arede J, Vaz R, Franceschi A, Gonzalo-Skok O, Leite N. Effects of a combined strength and conditioning training program on physical abilities in adolescent male basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019 Aug;59(8):1298–305.
11. Cormier P, Freitas TT, Rubio-Arias JÁ, Alcaraz PE. Complex and Contrast Training: Does Strength and Power Training Sequence Affect Performance-Based Adaptations in Team Sports? A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res*. 2020 Feb 20;

12. Matavulj D, Kukolj M, Ugarkovic D, Tihanyi J, Jaric S. Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001 Jun;41(2):159–64.
13. Khlifa R, Aouadi R, Hermassi S, Chelly MS, Jlid MC, Hbacha H, et al. Effects of a plyometric training program with and without added load on jumping ability in basketball players. *J Strength Cond Res*. 2010 Nov;24(11):2955–61.
14. Gorostiaga EM, Izquierdo M, Ruesta M, Iribarren J, González-Badillo JJ, Ibáñez J. Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2004 May;91(5–6):698–707.
15. Mujika I, Santisteban J, Castagna C. In-season effect of short-term sprint and power training programs on elite junior soccer players. *J Strength Cond Res*. 2009 Dec;23(9):2581–7.
16. Junge N, Jørgensen TB, Nybo L. Performance Implications of Force-Vector-Specific Resistance and Plyometric Training: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ*. 2023 Aug 18;
17. Arede J, Leite N, Tous-Fajardo J, Bishop C, Gonzalo-Skok O. Enhancing High-Intensity Actions During a Basketball Game After a Strength Training Program With Random Recovery Times Between Sets. *J Strength Cond Res*. 2022 Jul 1;36(7):1989–97.
18. Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Beardsley C, McMaster DT, Reyneke JHT, et al. Effects of a Six-Week Hip Thrust vs. Front Squat Resistance Training Program on Performance in Adolescent Males: A Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res*. 2017 Apr;31(4):999–1008.
19. Hodges SJ, Patrick RJ, Reiser RF. Effects of fatigue on bilateral ground reaction force asymmetries during the squat exercise. *J Strength Cond Res*. 2011 Nov;25(11):3107–17.
20. Meylan C, McMaster T, Cronin J, Mohammad NI, Rogers C, Deklerk M. Single-leg lateral, horizontal, and vertical jump assessment: reliability, interrelationships, and ability to predict sprint and change-of-direction performance. *J Strength Cond Res*. 2009 Jul;23(4):1140–7.
21. Gonzalo-Skok O, Tous-Fajardo J, Arjol-Serrano JL, Suarez-Arrones L, Casajús JA, Mendez-Villanueva A. Improvement of Repeated-Sprint Ability and Horizontal-Jumping Performance in Elite Young Basketball Players With Low-Volume Repeated-Maximal-Power Training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016 May;11(4):464–73.
22. Madruga-Parera M, Bishop C, Fort-Vanmeerhaeghe A, Beato M, Gonzalo-Skok O, Romero-Rodríguez D. Effects of 8 Weeks of Isoinertial vs. Cable-Resistance Training on Motor Skills Performance and Interlimb Asymmetries. *J Strength Cond Res*. 2020 Apr 29;
23. Abade E, Silva N, Ferreira R, Baptista J, Gonçalves B, Osório S, et al. Effects of Adding Vertical or Horizontal Force-Vector Exercises to In-season General Strength

- Training on Jumping and Sprinting Performance of Youth Football Players. *J Strength Cond Res.* 2021 Oct 1;35(10):2769–74.
24. Haugen T, Seiler S, Sandbakk Ø, Tønnessen E. The Training and Development of Elite Sprint Performance: an Integration of Scientific and Best Practice Literature. *Sports Med - Open.* 2019 Nov 21;5(1):44.
  25. de Villarreal ESS, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):715–25.
  26. Ronnestad BR, Kvamme NH, Sunde A, Raastad T. Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):773–80.
  27. Reymont C, Lundquist J, Bonis M. Effects of a four-week plyometric training program on measurements of power in male collegiate hockey players. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 May 1;39.
  28. Morin JB, Gimenez P, Edouard P, Arnal P, Jiménez-Reyes P, Samozino P, et al. Sprint Acceleration Mechanics: The Major Role of Hamstrings in Horizontal Force Production. *Front Physiol.* 2015;6:404.
  29. Lin J, Shen J, Zhang J, Zhou A, Guo W. Correlations between horizontal jump and sprint acceleration and maximal speed performance: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ.* 2023;11:e14650.
  30. Tous-Fajardo J, Gonzalo-Skok O, Arjol-Serrano JL, Tesch P. Enhancing Change-of-Direction Speed in Soccer Players by Functional Inertial Eccentric Overload and Vibration Training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016 Jan;11(1):66–73.
  31. Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports.* 2003 Aug;13(4):244–50.
  32. de Hoyo M, de la Torre A, Pradas F, Sañudo B, Carrasco L, Mateo-Cortes J, et al. Effects of eccentric overload bout on change of direction and performance in soccer players. *Int J Sports Med.* 2015 Apr;36(4):308–14.
  33. Los Arcos A, Yanci J, Mendiguchia J, Salinero JJ, Brughelli M, Castagna C. Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 May;9(3):480–8.
  34. López-Segovia M, Palao Andrés JM, González-Badillo JJ. Effect of 4 months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. *J Strength Cond Res.* 2010 Oct;24(10):2705–14.
  35. Rumpf MC, Lockie RG, Cronin JB, Jalilvand F. Effect of Different Sprint Training Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *J Strength Cond Res.* 2016 Jun;30(6):1767–85.



36. Lockie RG, Murphy AJ, Schultz AB, Knight TJ, Janse de Jonge XAK. The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res.* 2012 Jun;26(6):1539–50.
37. Yáñez-García JM, Rodríguez-Rosell D, Mora-Custodio R, González-Badillo JJ. Changes in Muscle Strength, Jump, and Sprint Performance in Young Elite Basketball Players: The Impact of Combined High-Speed Resistance Training and Plyometrics. *J Strength Cond Res.* 2022 Feb 1;36(2):478–85.
38. Meylan CMP, Cronin JB, Oliver JL, Hopkins WG, Contreras B. The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scand J Med Sci Sports.* 2014 Jun;24(3):e156-164.
39. Brughelli M, Cronin J, Levin G, Chaouachi A. Understanding change of direction ability in sport: a review of resistance training studies. *Sports Med Auckl NZ.* 2008;38(12):1045–63.
40. Sugiyama T, Maeo S, Kurihara T, Kanehisa H, Isaka T. Change of Direction Speed Tests in Basketball Players: A Brief Review of Test Varieties and Recent Trends. *Front Sports Act Living.* 2021;3:645350.
41. Miller MG, Herniman JJ, Ricard MD, Cheatham CC, Michael TJ. The effects of a 6-week plyometric training program on agility. *J Sports Sci Med.* 2006;5(3):459–65.
42. Gonzalo-Skok O, Tous-Fajardo J, Suarez-Arrones L, Arjol-Serrano JL, Casajús JA, Mendez-Villanueva A. Validity of the V-cut Test for Young Basketball Players. *Int J Sports Med.* 2015 Nov;36(11):893–9.
43. Asadi A, Arazi H, Young WB, Sáez de Villarreal E. The Effects of Plyometric Training on Change-of-Direction Ability: A Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016 Jul;11(5):563–73.
44. Buchheit M, Haydar B, Ahmaidi S. Repeated sprints with directional changes: do angles matter? *J Sports Sci.* 2012;30(6):555–62.
45. de Hoyo M, Sañudo B, Carrasco L, Domínguez-Cobo S, Mateo-Cortes J, Cadenas-Sánchez MM, et al. Effects of Traditional Versus Horizontal Inertial Flywheel Power Training on Common Sport-Related Tasks. *J Hum Kinet.* 2015 Sep 29;47:155–67.
46. Pardos-Mainer E, Casajús JA, Bishop C, Gonzalo-Skok O. Effects of Combined Strength and Power Training on Physical Performance and Interlimb Asymmetries in Adolescent Female Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020 Aug 20;1–9.
47. Gonzalo-Skok O, Sánchez-Sabaté J, Tous-Fajardo J, Mendez-Villanueva A, Bishop C, Piedrafita E. Effects of Direction-Specific Training Interventions on Physical Performance and Inter-Limb Asymmetries. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Jan;19(3).

# **LIMITACIONES**



## 7. LIMITACIONES

- La muestra de estudio fue más pequeña de lo que se consideró de manera inicial. Recopilar datos de jóvenes jugadores altamente entrenados no es una cuestión sencilla, ya que no muchos deportistas se someten a volúmenes de entrenamiento tan altos desde tan jóvenes como para ser considerados altamente entrenados (más de 10 horas de práctica deportiva semanal). Por ello, la muestra utilizada a lo largo de esta investigación es pequeña, y con menos datos, hay mayor variabilidad, lo que puede aumentar el margen de error en los resultados. Esto dificulta la determinación de si un efecto observado es real o producto del azar, además de que puede no representar adecuadamente la población más amplia.
- Los jugadores de baloncesto poseen características antropométricas únicas en comparación con deportistas de otras disciplinas deportivas. Los participantes de los estudios analizados compiten en ligas nacionales y, en algunos casos, internacionales. Además, su edad varía entre 13 y 17 años. Debido a esto, no es posible extender estos resultados a otros deportistas de diferente disciplina, nivel, edad o género.
- Trabajar con deportistas sujetos a un calendario competitivo semanal, que tienen que demostrar un rendimiento óptimo constantemente, hizo que no se pudiesen incluir grupos control en las intervenciones propuestas, dado que no sería práctico tener a parte de los jugadores sin entrenar durante la fase experimental. La ausencia de un grupo control puede conducir a interpretaciones erróneas o exageradas sobre la eficacia o el impacto de la intervención o tratamiento estudiado. Sin un grupo de control para comparar, cualquier variable no controlada (variables confusas) podría influir en los resultados, y no sería posible identificar su impacto.
- Solo existe un estudio que analice la influencia de la direccionalidad de aplicación de fuerza durante el entrenamiento pliométrico en jugadores de baloncesto. La falta de literatura científica en un grupo poblacional similar al estudiado ha sido un problema a la hora de buscar protocolos válidos, metodologías confiables o resultados donde poder establecer comparativas.



# **FUTURAS INVESTIGACIONES**



## 8. FUTURAS INVESTIGACIONES

La presente investigación ha mostrado como aplicar diferentes direccionalidades de movimiento sobre protocolos de entrenamiento de fuerza puede conllevar adaptaciones funcionales del rendimiento físico específicas. Por ello, es importante detallar cuales podrían ser las siguientes líneas de investigaciones relacionadas con la temática.

Esta investigación ha sido ejecutada a lo largo de las categorías formativas comprendidas entre los 12 y los 18 años. Sin embargo, se sabe que la edad biológica de un sujeto no siempre concuerda con su edad madurativa. Por tanto, sería interesante estudiar el efecto de la direccionalidad de movimiento a lo largo de los distintos métodos de entrenamiento propuestos en relación con la edad madurativa del jugador de baloncesto.

Relacionado con esta idea, estudiar el efecto de la direccionalidad de movimiento en el entrenamiento pliométrico, excéntrico y combinado a lo largo de todas las categorías deportivas y/o edades madurativas sería interesante para corroborar si los resultados obtenidos en esta investigación son extrapolables a toda la etapa formativa del jugador de baloncesto.

Tal y como se ha expuesto en el apartado de limitaciones, la parte experimental de esta investigación tuvo una muestra pequeña. Replicar esta investigación con más jugadores daría la posibilidad de dar solidez a las conclusiones obtenidas. Además, tener la posibilidad de introducir un grupo control en cada uno de los análisis realizados aportaría mayor credibilidad y fortaleza al estudio.

Por último, se destaca la importancia de estudiar los efectos de la direccionalidad de aplicación de fuerza en otras disciplinas deportivas donde el movimiento del deportista se lleve a cabo en los diferentes planos de movimiento. La aplicación práctica del concepto de direccionalidad de movimiento es algo que compete a la mayoría de deportes acíclicos, por lo que se debería estudiar su efecto específico en todos y cada uno de ellos.





# CONCLUSIONES



## 9. CONCLUSIONES

1. La direccionalidad de movimiento específica aplicada a través de distintos métodos de entrenamiento de la fuerza produce diferentes adaptaciones funcionales que están relacionadas con la predominancia del vector de fuerza de la variable evaluada en jóvenes jugadores de baloncesto.
2. El entrenamiento pliométrico con direccionalidad de movimiento horizontal mejora de manera similar el salto vertical unilateral y salto horizontal unilateral en comparación con el entrenamiento pliométrico con direccionalidad de movimiento vertical. Sin embargo, el protocolo horizontal mejora más el salto vertical bilateral, la velocidad lineal en 5, 10 y 25 m y la velocidad del cambio de dirección en el test V-cut que el protocolo vertical.
3. El entrenamiento excéntrico con direccionalidad de movimiento horizontal produce mejoras superiores en el salto vertical unilateral, el salto horizontal unilateral, la velocidad lineal en 5 m y el cambio de dirección de 180° con la pierna izquierda en comparación con el entrenamiento excéntrico con direccionalidad de movimiento lateral. Por otro lado, el protocolo lateral mejora más el salto lateral unilateral.
4. El entrenamiento combinado con direccionalidad de movimiento horizontal aumenta el rendimiento en el salto vertical unilateral izquierdo, el salto horizontal unilateral, la velocidad lineal en 5, 10 y 20 m y la velocidad del cambio de dirección en el test V-cut en comparación con el entrenamiento combinado con direccionalidad de movimiento vertical. No obstante, el protocolo vertical mejora más el salto vertical unilateral derecho.



# **ANEXOS**



## ANEXOS

ANEXO I. Aprobación Comité de Ética de la Universidad San Jorge.





## **COMITÉ ÉTICA UNIVERSIDAD SAN JORGE**

María Pilar Martín Duque, Vicerrectora de Investigación de la Universidad San Jorge, entidad domiciliada en el Edificio de Rectorado del Campus de Villanueva de Gállego, sito en Autovía A-23, Zaragoza-Huesca, km 299, de Villanueva de Gállego - 50.830 -, actuando en calidad de Presidenta del Comité de Ética de la citada universidad, mediante el presente

### **HAGO CONSTAR**

La aprobación por parte del Comité de Ética de la Universidad San Jorge del proyecto de investigación "Influencia de la direccionalidad de aplicación en un entrenamiento combinado de fuerza en jóvenes jugadores de baloncesto", presentado al Comité de Ética por el investigador D. Jorge Sánchez Sabaté.

A la vista de los datos aportados en relación con el estudio, este Comité de Ética no observa disconformidad alguna para que se lleve a cabo en las condiciones que se indican según el documento anexo.

No obstante, se hace constar que, si se produjese cualquier modificación sustancial de las condiciones y/o metodología durante el desarrollo del proyecto que pudieran afectar a las consideraciones éticas o al cumplimiento de las obligaciones legales respecto a la protección de los datos de carácter personal de los participantes, será necesaria una nueva revisión del proyecto por parte de este Comité de Ética para ratificar o revocar la conformidad con el mismo.

El presente informe favorable sólo tendrá validez respecto la investigación desarrollada en el Campus de Universidad San Jorge o en instituciones conveniadas, y durante el periodo de tiempo necesario para llevar a cabo la investigación según la documentación aportada, esto es desde marzo de 2021 hasta agosto de 2021. En caso de no poder completarse la investigación en dicho periodo o de ampliarse el alcance del mismo, dicha validez podrá ser prorrogada, a solicitud del investigador, por el periodo de tiempo necesario de acuerdo con las nuevas condiciones informadas al Comité de Ética.

Y para que conste se firma el presente en Villanueva de Gállego en la fecha indicada en la firma digital,

50436955W Firmado  
digitalmente por  
MARIA DEL 50436955W MARIA  
PILAR DEL PILAR MARTIN  
(R: G99047672)  
MARTIN (R: Fecha: 2021.02.25  
G99047672) 11:46:58 +01'00'

María Pilar Martín Duque  
Presidenta



## ANEXO II. Informe de la dirección de la tesis sobre la contribución del doctorando en el artículo 1.

Este informe tiene como objetivo describir de manera detallada las contribuciones específicas del doctorando Jorge Sánchez Sabaté, quien aparece como segundo autor en el artículo científico titulado " *Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players*". Este documento busca resaltar y reconocer formalmente el trabajo y la implicación del doctorando en el desarrollo y la elaboración del artículo.

### Contribuciones Detalladas

1. **Investigación Preliminar y Revisión de Literatura:** El doctorando llevó a cabo una extensa investigación bibliográfica que formó la base teórica del artículo. Identificó, revisó y sintetizó estudios previos relevantes, proporcionando una comprensión profunda y actualizada del tema.
2. **Diseño Metodológico:** El doctorando jugó un papel crucial en el desarrollo del diseño metodológico del estudio. Colaboró estrechamente en la formulación de hipótesis y en la definición de variables clave, asegurando la solidez y la viabilidad del enfoque investigativo.
3. **Recopilación de Datos:** Fue responsable de la ejecución de la recopilación de datos. Esta tarea incluyó la preparación de instrumentos de recolección, la organización de sesiones de recogida de datos y la gestión de participantes, asegurando un proceso eficiente y ético.
4. **Análisis de Datos:** El doctorando llevó a cabo el análisis estadístico descriptivo de los datos recogidos y participó activamente en la interpretación de los datos obtenidos del análisis estadístico restante.
5. **Redacción y Revisión del Manuscrito:** Desempeñó un papel importante en la revisión y edición del manuscrito, asegurando su precisión y coherencia.



**Director: Dr. Oliver Gonzalo Skok**



### ANEXO III. Documento acreditativo del estado del artículo 3.

**Asunto: JSCR Decision- Revision**

**Responder a:** Journal of Strength and Conditioning Research <[jane.baque@kwglobal.com](mailto:jane.baque@kwglobal.com)>

Oct 24, 2023

RE: JSCR-08-20442, entitled "Influence of force-vector predominance on combined strength training in young basketball players"

Dear Dr. Gonzalo-Skok,

Expert reviewers carefully evaluated your manuscript. The comments are included below. You need to take care of formatting and presentation style etc. and experimental concerns noted by the reviewers. The reviewers wanted to give you a chance to revise and address the experimental concerns. Thus, you and your research team need to really revise your paper with this in mind. You need to make sure there is a linkage from the question/problem to the justified approach of an intervention, to testing the intervention to showing it has efficacy and practical importance for the strength and conditioning professional field.

**Asunto: JSCR Submission Confirmation for JSCR-08-20442R1**

**Responder a:** Journal of Strength and Conditioning Research <[jane.baque@kwglobal.com](mailto:jane.baque@kwglobal.com)>

Nov 14, 2023

Dear Dr. Gonzalo-Skok,

The Journal of Strength and Conditioning Research has received your revised submission JSCR-08-20442R1 entitled, "Influence of vertical-oriented vs. horizontal-oriented combined strength training in young basketball players."



ANEXO IV. Documentos FI-379 Aceptación de Coautores de Publicaciones en Tesis Doctorales por Compendio de Artículos.







**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | 72984998H  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | Gonzalo Skok, Oliver   |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | Departamento de Comunicación y Educación de la Universidad Loyola.   |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | Profesor titular   |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> Sí / Yes   |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players.<br><br>Effects of direction-specific training interventions on physical performance and inter-limb asymmetries.<br><br>Influence of vertical-oriented vs. horizontal-oriented combined strength training in young basketball players. |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En Zaragoza, a 17 de Noviembre de 2023

Firma / *Signature*

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

Firma / *Signature*



**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | 76919808B  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | Piedrafita Trigo, Eduardo  |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | Universidad San Jorge  |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | Personal docente e investigador  |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> <b>Sí / Yes</b><br><input type="radio"/> No (rellenar el apartado de renuncia / <i>please fill in the resignation below</i> )  |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Effects of direction-specific training interventions on physical performance and inter-limb asymmetries.<br><br>Influence of vertical-oriented vs. horizontal-oriented combined strength training in young basketball players. |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En Villanueva de Gállego (Zaragoza), a 14 de septiembre de 2023

Firma / *Signature*

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

Firma / *Signature*



**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | 18449585C  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | IZQUIERDO LUPÓN, LUIS  |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | Investigador independiente   |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | MSc  |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> No (rellenar el apartado de renuncia / <i>please fill in the resignation below</i> ) |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players.     |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En Zaragoza, a 8 de Noviembre de 2023

Firma / *Signature*

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

Firma / *Signature*

**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | 29105432J  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | TOUS FAJARDO, JULIO  |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | INEFC Barcelona-UB   |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | Investigador Senior asociado   |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> Sí / <i>Yes</i>  |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Effects of Direction-Specific Training Interventions on Physical Performance and Inter-Limb Asymmetries. |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En Palma de Mallorca, a 8 de Noviembre de 2023



Firma / *Signature*

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

Firma / *Signature*



**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | 16056102D  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | SAEZ DE VILLARREAL SAEZ, EDUARDO   |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE, Departamento Deporte e Informática   |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD  |
| <b>Doctor/a</b>  | <input checked="" type="checkbox"/> Sí / <i>Yes</i><br><input type="checkbox"/> No (rellenar el apartado de renuncia / <i>please fill in the resignation below</i> ) |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Influence of force-vector and force application plyometric training in young elite basketball players.   |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En \_\_\_\_\_ Larrauri \_\_\_\_\_, a \_10\_ de \_\_\_\_\_ Noviembre \_\_\_\_\_ de 20\_23\_

SAEZ DE VILLARREAL  
SAEZ EDUARDO -

Firma / *Signature* 16056102D

Firmado digitalmente por SAEZ DE VILLARREAL SAEZ EDUARDO -  
16056102D

Fecha: 2023.11.10 11:28:18 +01'00'

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

SAEZ DE VILLARREAL  
SAEZ EDUARDO -

Firma / *Signature*

16056102D

Firmado digitalmente por SAEZ DE VILLARREAL SAEZ EDUARDO -  
16056102D

Fecha: 2023.11.10 11:28:52  
+01'00'



**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | 09419595Z  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | Mendez Villanueva, Jose Alberto  |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | Federacion Ecuatoriana de Futbol   |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | Preparador Fisico  |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> <i>Sí / Yes</i>  |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Effects of Direction-Specific Training Interventions on Physical Performance and Inter-Limb Asymmetries. |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En Quito, a 9 de Noviembre de 2023

Firma / *Signature*

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

Firma / *Signature*



**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | JK115746C  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | Bishop, Chris  |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | London Sport Institute, Middlesex University   |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | Associate Professor  |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> Sí / <i>Yes</i>  |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Effects of Direction-Specific Training Interventions on Physical Performance and Inter-Limb Asymmetries. |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En Londres, a 8 de Noviembre de 2023

Firma /

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

Firma / *Signature*





**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis**

Datos del coautor / co-author data

|  |   |
|--|---|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><b>Identity number</b>   | 30237588V   |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><b>Coauthor's surname, name</b>                                    | Marco Contreras, Luis Alberto   |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><b>Affiliation, Department, University</b> | Health Sciences Faculty, Universidad San Jorge, Autov A23 km 299, 50830 Villanueva de Gállego, Zaragoza, Spain. |
| <b>Categoría</b><br><b>Academic category</b>   | Personal Docente e Investigador   |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> Sí / Yes  |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><b>Title of the research publications affected</b>                   | Influence of vertical-oriented vs. horizontal-oriented combined strength training in young basketball players   |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><b>PhD student's surname, name</b>                              | Sánchez Sabaté, Jorge   |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.

En Zaragoza a 14 de Septiembre de 2023

Firma / Signature

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis**

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis

Firma / Signature

**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis**

Datos del coautor / co-author data

|  |  |
|--|--|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><b>Identity number</b>   | 25466647N  |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><b>Coauthor's surname, name</b>                                    | Gutiérrez Pablo, Héctor  |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><b>Affiliation, Department, University</b> | Facultad de Ciencias de la Salud (Universidad San Jorge)   |
| <b>Categoría</b><br><b>Academic category</b>   | Profesor Asociado  |
| <b>Doctor/a</b>  | <input type="radio"/> Sí / Yes<br><input type="radio"/> No (rellenar el apartado de renuncia / please fill in the resignation below) |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><b>Title of the research publications affected</b>                   | Influence of vertical-oriented vs. horizontal-oriented combined strength training in young basketball players                        |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><b>PhD student's surname, name</b>                              | Sánchez Sabaté, Jorge  |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.

En Zaragoza, a 15 de noviembre de 2023.

**GUTIERREZ**  
**PABLO HECTOR**  
**- 25466647N**

Firmado digitalmente  
por GUTIERREZ PABLO  
HECTOR - 25466647N  
Fecha: 2023.11.16  
12:15:09 +01'00'

Firma / Signature

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis**

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis

Firma / Signature



**ACEPTACIÓN ESCRITA DE LOS COAUTORES PARA QUE EL DOCTORANDO PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL / *Written acceptance of the co-authors of a research publication for its presentation as part of a PhD Thesis***

Datos del coautor / *co-author data*

|  |   |
|--|---|
| <b>DNI/NIE/PASAPORTE</b><br><i>Identity number</i>   | 73051769C   |
| <b>Apellidos, nombre del coautor</b><br><i>Coauthor's surname, name</i>                                    | Younes Egaña, Omar  |
| <b>Institución, departamento, universidad de pertenencia</b><br><i>Affiliation, Department, University</i> | Investigador independiente  |
| <b>Categoría</b><br><i>Academic category</i>   | MsC   |
| <b>Doctor/a</b>  | No (rellenar el apartado de renuncia / <i>please fill in the resignation below</i> )                          |
| <b>Título de las publicaciones</b><br><i>Title of the research publications affected</i>                   | Influence of vertical-oriented vs. horizontal-oriented combined strength training in young basketball players |
| <b>Apellidos, nombre del doctorando</b><br><i>PhD student's surname, name</i>                              | Sánchez Sabaté, Jorge   |

Acepto que la publicación mencionada sea presentada por el doctorando como trabajo que forma parte de su tesis doctoral / *Hereby I accept that the above mentioned research publication is presented by the PhD student as part of its PhD Thesis.*

En Melbourne, a 22 de septiembre de 2023

Firma / *Signature*

**RENUNCIA DEL COAUTOR NO DOCTOR A PRESENTAR EL TRABAJO COMO PARTE DE OTRA TESIS DOCTORAL / *Resignation of the co-author to use the research publication as part of my PhD Thesis***

Renuncio a presentar las publicaciones mencionadas como parte de otra tesis doctoral / *I resign to use the mentioned publications as part of my PhD Thesis*

Firma / *Signature*