

UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE

DEPARTAMENTO DE DEPORTE E
INFORMÁTICA



TESIS DOCTORAL

EFFECTOS DE LA COMBINACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA,
PLIOMETRÍA, VELOCIDAD Y CAMBIO DE DIRECCIÓN EN EL RENDIMIENTO
FÍSICO.

Línea de Investigación: Ciencias de la Actividad Física, del Deporte y la Salud

DIRECTOR DE LA TESIS:

Dr. D. Eduardo Sáez de Villarreal Sáez

DOCTORANDO:

D. Carlos León Muñoz

SEVILLA, MAYO 2024

UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE

DEPARTAMENTO DE DEPORTE E INFORMÁTICA

TESIS DOCTORAL

EFFECTOS DE LA COMBINACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA,
PLIOMETRÍA, VELOCIDAD Y CAMBIO DE DIRECCIÓN EN EL RENDIMIENTO
FÍSICO.

**Línea de Investigación: Ciencias de la Actividad Física, del Deporte y
la Salud**

Tesis presentada por: D. Carlos León Muñoz

Dirigida por: Dr. D. Eduardo Sáez de Villarreal Sáez

El Director



El Doctorando

“A veces la vida consiste en arriesgarlo todo por un sueño que sólo tú eres capaz de ver.”

“Cuando un hombre sabe a dónde va,
el mundo entero se aparta para dejarle paso”

Bertrand Russell

AGRADECIMIENTOS

"Si no puedes volar, *corre*; si no puedes correr, *camina*; si no puedes caminar, *gatea*, pero *sigue avanzando* hacia tu meta". *Martin Luther King*.

La presentación de esta tesis doctoral representa la culminación de un largo, complicado y significativo viaje, cuyo logro parecía incierto en muchos momentos. Durante estos tres años, he enfrentado dificultades y obstáculos que pusieron a prueba mi determinación y voluntad, y en ocasiones, la idea de renunciar estuvo presente. En este sentido, deseo expresar mi profundo agradecimiento a la vida por la fortaleza mental que me ha permitido mantener el enfoque en mi objetivo a pesar de las adversidades. Reconozco ahora que cada obstáculo ha tenido su razón de ser, y que la vida tiene un plan para cada uno de nosotros. A veces te das cuenta de que, cuando todo parece oscuro, ya has llegado casi a la cima de la montaña y que lo que sigue es simplemente cuesta abajo.

A mis padres, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por todo el sacrificio que han hecho para permitirme perseguir y cumplir mis sueños. Vuestra dedicación y vuestro apoyo incondicional (pese a en multitud de ocasiones no entenderlo o no compartirlo) han sido los pilares fundamentales que me han guiado en mi camino. Sé que cada sacrificio que habéis hecho ha sido con amor y con el deseo de verme alcanzar mis metas. Por todo lo que habéis hecho y continúan haciendo por mí, no tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud. Vuestra entrega desinteresada es un ejemplo de amor incondicional y dedicación. Prometo honrar vuestro sacrificio cada día, persiguiendo mis sueños con determinación y convicción.

Toni, quiero tomarme un momento para expresar mi más profundo agradecimiento por tu apoyo incondicional en este proyecto que hemos emprendido juntos. Eres más que un amigo, eres mi compañero de sueños. Tu ayuda ha sido fundamental en el desarrollo de este proyecto tan importante para mi vida profesional, y ahora, en el momento crítico de esta tesis, has asumido todas las responsabilidades para que yo pueda concentrarme y recuperarme. Fuiste mis piernas cuando no podía andar, y por eso te estaré siempre agradecido. No tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud hacia ti.

Eduardo, quisiera expresar mi más profundo agradecimiento por ser el mayor referente

profesional que he tenido, incluso sin saberlo. Tu influencia ha sido fundamental en mi desarrollo académico y profesional, impulsándome constantemente a querer alcanzar más. Has sido la persona que me ha permitido lograr este importante hito profesional, desde el momento en que, sin dudarlo, aceptaste ser mi tutor de tesis, hasta brindarme toda la ayuda necesaria para llevar a cabo este proyecto doctoral. Estoy eternamente agradecido por tu apoyo, tu orientación experta y tu dedicación incansable. Gracias por creer en mí y por ser un guía excepcional en este viaje académico.

A todas las personas que han formado parte de este viaje y cuyos nombres no puedo mencionar individualmente (hermana, familia, amigos, María, Pablo...), quiero expresar mi más sincero agradecimiento. Aunque no pueda nombrar a cada uno de vosotros, quiero que sepan que su impacto ha sido significativo y estoy profundamente agradecido por su presencia en mi vida. Gracias por ser parte de este viaje.

Muchas gracias.

Resumen

Esta tesis doctoral comprende dos secciones distintas: una teórica y otra experimental. El propósito principal radica, en primer lugar, en examinar la literatura existente acerca de la combinación del entrenamiento pliométrico con otras metodologías (fuerza, velocidad, cambio de dirección, etc.) sobre las variables de salto, velocidad y fuerza, a través de dos revisiones de literatura y metaanálisis. En segundo lugar, se busca analizar el efecto producido por diferentes combinaciones de entrenamiento (pliometría, fuerza, velocidad, cambios de dirección, agilidad) en jugadoras de fútbol semiprofesionales y en jóvenes jugadores de fútbol mediante dos estudios experimentales. El objetivo es comprender y concluir, basándose en la literatura actual, si el entrenamiento combinando diferentes metodologías de entrenamiento es efectivo para mejorar el rendimiento. Posteriormente, se busca respaldar o refutar estos resultados a través de dos estudios experimentales en diferentes poblaciones. Específicamente, en cada estudio:

En el primer metaanálisis, se pretendía examinar los efectos del entrenamiento pliométrico combinado con métodos adicionales (fuerza, velocidad, cambio de dirección etc.) sobre el rendimiento del salto vertical. Se incluyeron 36 estudios con 1169 participantes. Se observaron mejoras estadísticamente significativas en todos los tipos de salto vertical analizados: CMJ (ES = 0,63; IC 95 % = 0,49 a 0,77; $p < 0,001$), SJ (ES = 0,77; IC 95 % = 0,45 a 1,10; $p < 0,001$), DJ (ES = 0,46; IC 95 % = 0,14 a 0,77; $p = 0,005$) y CMJA (ES = 1,01; IC 95 % = 0,31 a 1,70; $p = 0,005$). Se concluye que los métodos de entrenamiento de fuerza combinados son efectivos para mejorar la altura del salto vertical en participantes y atletas sanos en comparación con las condiciones de control.

En el segundo metaanálisis, el objetivo fue examinar los efectos del entrenamiento pliométrico combinado con métodos adicionales (fuerza, velocidad, cambio de dirección etc.) sobre el rendimiento de la fuerza y la velocidad. Se incluyeron 31 estudios con 1271 participantes. Se observaron mejoras estadísticamente significativas en todas las distancias medidas en sprint: 10-m (ES = 0.67), 20-m (ES = 0.45), 30-m (ES = 0.46), excepto en la distancia de 5-m sprint (ES = 0.39). Además, se notaron mejoras significativas en la fuerza medida con el ejercicio de sentadilla (ES = 1.53). Se concluyó que los métodos de entrenamiento de fuerza combinados fueron efectivos para mejorar la fuerza y la velocidad en participantes y atletas sanos en comparación con las condiciones

de control.

El primer estudio experimental tuvo como objetivo determinar la influencia del entrenamiento combinado a corto plazo de pliometría, velocidad y cambio de dirección (durante 6 semanas) dentro de la práctica regular de fútbol sobre las acciones de salto, velocidad y cambio de dirección de las jugadoras de fútbol durante la temporada. Veintitrés jugadoras fueron seleccionadas para la intervención y asignadas aleatoriamente a dos grupos: pliometría + velocidad + cambio de dirección (COMB) o grupo de control. Durante 6 semanas, ambos grupos entrenaron fútbol 4 veces por semana, pero los grupos experimentales reemplazaron el calentamiento táctico típico por un programa de entrenamiento pliométrico combinado con velocidad y cambio de dirección durante 20 minutos (2 días por semana). Se realizaron pruebas de salto vertical, velocidad y cambio de dirección antes y después del entrenamiento. El análisis intragrupo mostró mejoras significativas en CMJ (ES = 0,92), 20m sprint (ES: <0,001) y L-run (ES: <0,001). El análisis entre grupos mostró mejoras significativas solo en la variable 20m sprint ($p \leq 0,001$), sin diferencias notables en CMJ y L-run.

En resumen, se concluye que sustituir algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad por ejercicios pliométricos combinados con sprints y cambios de dirección durante el calentamiento podría ser una opción para optimizar la capacidad de salto, sprint y cambio de dirección durante el entrenamiento de fútbol de temporada.

El segundo estudio experimental buscaba determinar la influencia del entrenamiento pliométrico o combinado a corto plazo (6 semanas) dentro de la práctica regular de fútbol en las acciones de salto y cambio de dirección de jóvenes jugadores de fútbol durante la temporada. Treinta jugadores fueron seleccionados y asignados aleatoriamente a tres grupos: pliometría (PL), pliometría + velocidad + cambio de dirección (COMB1) o pliometría + velocidad + cambio de dirección + fuerza (COMB2). Durante 6 semanas, todos los grupos entrenaron fútbol 3 veces por semana, reemplazando el calentamiento táctico de fútbol por un programa de entrenamiento pliométrico o combinado durante 20 minutos (2 días por semana). Se realizaron pruebas de salto vertical y cambio de dirección antes y después del entrenamiento. El análisis intragrupo mostró mejoras significativas en los grupos COMB1, COMB2 y PL en la variable CMJA (ES: 0,73;1,27;1,16, respectivamente), mientras que los grupos COMB1 y COMB2 también mostraron mejoras significativas en la prueba de cambio de dirección (ES: 3,75; 2,15,

respectivamente). El análisis entre grupos mostró diferencias significativas en las variables de cambio de dirección en comparación con el grupo PL. Los grupos COMB1 y COMB2 no mostraron mejoras significativas en la prueba L-Run.

En conclusión, la sustitución de algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad por ejercicios pliométricos combinados con ejercicios de fuerza, sprints y cambio de dirección durante el calentamiento puede ser una opción para optimizar la capacidad de salto y cambio de dirección durante el entrenamiento de fútbol de temporada.

Abstract

This doctoral thesis comprises two distinct sections: a theoretical and an experimental one. The primary aim is, first, to examine existing literature on the combination of plyometric training concerning variables such as jump, speed, and strength through two meta-analyses. Second, it seeks to analyze the effect produced by different training combinations on semi-professional female soccer players and young soccer players through two experimental studies. The goal is to understand and conclude, based on current literature, whether combined training is effective in enhancing performance. Subsequently, these results are sought to be supported or refuted through two experimental studies involving different populations.

Specifically, in each study:

In the first meta-analysis, the objective was to examine the effects of combined plyometric training with additional methods (strength, speed, change of direction) on vertical jump performance. Thirty-six studies with 1169 participants were included. Statistically significant improvements were observed in all types of vertical jumps analyzed: CMJ (ES = 0.63; 95% CI = 0.49 to 0.77; $p < 0.001$), SJ (ES = 0.77; 95% CI = 0.45 to 1.10; $p < 0.001$), DJ (ES = 0.46; 95% CI = 0.14 to 0.77; $p = 0.005$), and CMJA (ES = 1.01; 95% CI = 0.31 to 1.70; $p = 0.005$). It is concluded that combined strength training methods are effective in improving vertical jump height in healthy participants and athletes compared to control conditions.

In the second meta-analysis, the aim was to examine the effects of combined plyometric training with additional methods (strength, speed, change of direction) on strength and speed performance. Thirty-one studies with 1271 participants were included. Statistically significant improvements were observed in all measured sprint distances: 10-m (ES = 0.67), 20-m (ES = 0.45), 30-m (ES = 0.46), except for the 5-m sprint distance (ES = 0.39). Additionally, significant improvements in strength measured through squat exercise were noted (ES = 1.53). It is concluded that combined strength training methods are effective in improving strength and speed in healthy participants and athletes compared to control conditions.

The first experimental study aimed to determine the influence of short-term combined plyometric, speed, and change of direction training (over 6 weeks) within regular soccer practice on the jump, speed, and change of direction actions of female soccer players during the season. Twenty-three players underwent the intervention and were randomly

assigned to two groups: plyometrics + speed + change of direction (COMB) or control group. For 6 weeks, both groups trained soccer 4 times a week, but the experimental groups replaced typical tactical warm-up with a combined plyometric training program with speed and change of direction for 20 minutes (2 days per week). Vertical jump, speed, and change of direction tests were conducted before and after training. Intragroup analysis showed significant improvements in CMJ (ES = 0.92), 20m sprint (ES: <0.001), and L-run (ES: <0.001). Intergroup analysis showed significant improvements only in the 20m sprint variable ($p \leq 0.001$), with no notable differences in CMJ and L-run.

In summary, it is concluded that substituting some low-intensity soccer exercises with combined plyometric exercises along with sprints and changes of direction during warm-up could be an option to optimize jump, sprint, and change of direction capacities during seasonal soccer training.

The second experimental study aimed to determine the influence of short-term plyometric or combined training (6 weeks) within regular soccer practice on jump and change of direction actions of young soccer players during the season. Thirty players were selected and randomly assigned to three groups: plyometrics (PL), plyometrics + speed + change of direction (COMB1), or plyometrics + speed + change of direction + strength (COMB2). For 6 weeks, all groups trained soccer 3 times a week, replacing soccer tactical warm-up with a plyometric or combined training program for 20 minutes (2 days per week). Vertical jump and change of direction tests were conducted before and after training. Intragroup analysis showed significant improvements in CMJA variable for groups COMB1, COMB2, and PL (ES: 0.73; 1.27; 1.16, respectively), while groups COMB1 and COMB2 also showed significant improvements in the change of direction test (ES: 3.75; 2.15, respectively). Intergroup analysis showed significant differences in change of direction variables compared to the PL group. Groups COMB1 and COMB2 did not show significant improvements in the L-Run test.

In conclusion, substituting some low-intensity soccer exercises with plyometric exercises combined with strength exercises, sprints, and change of direction during warm-up may be an option to optimize jump and change of direction capacities during seasonal soccer training.

ESTUDIOS DESARROLLADOS

Estudio 1. Título: Efectos de los Métodos Combinados de Entrenamiento de Fuerza en el Rendimiento de Salto: Una Revisión Sistemática y Metaanálisis de Estudios Controlados.

“Effects of Combined Strength Training Methods on Jump Performance: A Systematic Review and Me-ta-analysis of Controlled Studies”

Estudio 2. Título: Efectos de los Métodos de Entrenamiento de Fuerza Combinados en Atletas y Participantes Saludables en el Rendimiento de Sprints y Fuerza: Una Revisión Sistemática con Metaanálisis de Estudios Controlados.

“Effects of Combined Strength Training Methods on Athletes and Healthy Participants Sprint and Strength Performance: A Systematic Review and Meta-analysis of Controlled Studies”

Estudio 3. Título: Efectos del entrenamiento combinado pliométrico, de velocidad y cambio de dirección en jugadoras de fútbol sobre el rendimiento físico.

“Effects of combined plyometric, speed and change of direction training on female soccer players on physical performance”

Estudio 4. Título: Efectos del entrenamiento combinado pliométrico, de fuerza, velocidad y cambio de dirección en el rendimiento físico de jugadores jóvenes de fútbol masculino: Un ensayo controlado aleatorio

“Effects of combined plyometric, strength, speed and change of direction training on youth male soccer players physical performance: A randomized controlled trial”

Abreviaturas

1RM: Repetición máxima

5m: Sprint lineal de 5 metros

10m: Sprint lineal de 10 metros

20m: Sprint lineal de 20 metros

30m: Sprint lineal de 30 metros

BL: Estabilidad

CA2+: Calcio

CCI: Coeficiente de correlación Inter clase

CEA: Ciclo de estiramiento acortamiento

Cm: Centímetros

CMJ: salto con contramovimiento

CMJA: salto con contramovimiento con brazos

COMB1: Combinado 1

COMB2: Combinado 2

CDD: cambio de dirección

EC: Entrenamiento combinado

DE: Desviación estándar

EF: Entrenamiento de fuerza

GRF: Fuerza de reacción del suelo

GC: Grupo control

Hz: Hercios

Kg: Kilogramos

M: Metros

Min: Minutos

Ms: Milisegundos

MVC: contracción voluntaria máxima

Pmáx.: Potencia máxima

PL: Pliometría

RE: Reflejo estiramiento

RFD: Ratio de desarrollo de la fuerza

SJ: "Squat jump"

UM: Unidades motoras

SV: Salto vertical

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1	Origen de la problemática objeto de estudio.....	22
1.2	Estado actual sobre la problemática estudiada.....	24
1.2.1	Factores Neuromusculares y morfológicos influyentes en la Potencia.....	24
1.2.2	Métodos de entrenamiento de la potencia	36
1.2.3	Combinación de métodos de entrenamiento	48

CAPÍTULO 2: PROBLEMAS, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Formulación del problema	52
2.2	Problema 1	52
2.3	Problema 2	53
2.4	Problema 3	53
2.5	Problema 4	54
2.6	Objetivos generales.....	55
2.6.1	Metaanálisis.....	55
2.6.2	Estudios experimentales.....	55
2.7	Objetivos específicos	55
2.7.1	Metaanálisis.....	56
2.7.2	Estudios experimentales.....	57
2.8	Hipótesis Metaanálisis	58
2.9	Hipótesis estudios experimentales	58

CAPÍTULO 3: ESTUDIO 1: EFECTOS DE LOS MÉTODOS COMBINADOS DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL RENDIMIENTO DE SALTO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y UN METAANÁLISIS DE ESTUDIOS CONTROLADOS

3.1	Resumen.....	61
3.2	Introducción	63
3.3	Metodología.....	65

3.3.1	Planteamiento experimental del problema	65
3.3.2	Sujetos	65
3.3.3	Procedimientos	66
3.3.4	Análisis estadístico	68
3.4	Resultados	68
3.4.1	Resultados de Búsqueda.....	68
3.4.2	Características generales de los estudios.....	69
3.4.3	Calidad Metodológica	70
3.4.4	Metaanálisis.....	72
3.5	Discusión	76
3.6	Aplicaciones practicas	78

CAPÍTULO 4:

ESTUDIO 2: EFECTOS DE LOS MÉTODOS DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA COMBINADOS EN ATLETAS Y PARTICIPANTES SALUDABLES EN EL RENDIMIENTO DE SPRINTS Y FUERZA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON METAANÁLISIS DE ESTUDIOS CONTROLADOS

4.1	Resumen.....	80
4.2	Introducción	82
4.3	Metodología	85
4.3.1	Planteamiento experimental del problema	85
4.3.2	Sujetos	85
4.3.3	Procedimientos	86
4.3.4	Análisis estadístico.....	87
4.4	Resultados	88
4.4.1	Resultados de Búsqueda.....	88
4.4.2	Características generales de los estudios.....	89
4.4.3	Calidad metodológica.....	90
4.4.4	Metaanálisis.....	92
4.5	Discusión	98
4.6	Conclusión	101

CAPÍTULO 5:

ESTUDIO 3: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO COMBINADO DE PLIOMETRÍA, VELOCIDAD Y CAMBIO DE DIRECCIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO FÍSICO EN JUGADORAS DE FÚTBOL

5.1	Resumen.....	103
5.2	Introducción.....	105
5.3	Metodología.....	108
5.3.1	Diseño Experimental y planteamiento del problema	108
5.3.2	Sujetos	108
5.3.3	Mediciones	110
5.3.4	Protocolo experimental	113
5.3.5	Análisis estadístico.....	115
5.4	Resultados.....	115
5.5	Discusión	117
5.6	Conclusiones.....	120
5.7	Aplicaciones prácticas	120

CAPÍTULO 6:

ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO COMBINADO PLIOMETRÍA, FUERZA, VELOCIDAD Y CAMBIO DE DIRECCIÓN EN EL RENDIMIENTO FÍSICO DE JUGADORES JÓVENES DE FÚTBOL MASCULINO: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIO

6.1	Resumen.....	123
6.2	Introducción.....	125
6.3	Metodología.....	127
6.3.1	Diseño Experimental y planteamiento del problema	127
6.3.2	Sujetos	128
6.3.3	Mediciones	130
6.3.4	Protocolo experimental	132
6.3.5	Análisis estadístico.....	134
6.4	Resultados.....	134
6.4.1	Medidas antropométricas	134
6.4.2	Salto Vertical.....	135

6.4.3	L-Run test.....	135
6.5	Discusión	136
6.6	Conclusión	140
6.7	Aplicaciones prácticas	140

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES GENRALES

Conclusiones generales	141
------------------------------	-----

CAPÍTULO 8: LIMITACIONES DE LA TESIS

Limitaciones de la tesis	146
--------------------------------	-----

CAPÍTULO 9: APLICACIONES PRÁCTICAS

Aplicaciones prácticas.....	149
-----------------------------	-----

CAPÍTULO 10: FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Futuras líneas de investigación	152
---------------------------------------	-----

CAPÍTULO 11: BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía	155
--------------------	-----

CAPÍTULO 12: ANEXOS

12.1	ANEXO 1: Consentimiento informado (Para jugadores menores de edad y adultos)	177
12.2	ANEXO 2: Programa de entrenamiento detallado Estudio 3	178
12.3	ANEXO 3: Programa de entrenamiento detallado Estudio 4	183

CAPÍTULO 13:

ARTÍCULOS PUBLICADOS

Artículos publicados..... 185

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios de inclusión y exclusión de los estudios en la fase de selección de la revisión sistemática	66
Tabla 2: Caracterización de los grupos de participantes y de las intervenciones de formación	70
Tabla 3: Calidad metodológica	71
Tabla 4: Criterios de inclusión y exclusión de los estudios en la fase de selección de la revisión sistemática.	85
Tabla 5: Caracterización de los grupos de participantes y de las intervenciones de formación	90
Tabla 6: Calidad metodológica	91
Tabla 7: Características de los grupos (media \pm DE).....	109
Tabla 8: Programa de entrenamiento	114
Tabla 9: Análisis intragrupo: puntuaciones basales y de seguimiento, tamaños del efecto, límites de confianza y valor P.	116
Tabla 10: Características de los grupos (media \pm DE).....	129
Tabla 11: Programa de entrenamiento	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: RFD	25
Fig. 2: Orden de reclutamiento de unidades motoras.....	27
Fig. 3: Frecuencia de descarga de unidades motoras	30
Fig. 4: Ciclo estiramiento-acortamiento	32
Fig. 5: Reflejo miotático	33
Fig. 6: Diferentes tipos de fibras musculares.....	35
Fig. 7: Ejemplo "Stiffness" a través de un sistema de muelles.....	36
Fig. 8: Diagrama de flujo de las diferentes etapas del proceso de revisión sistemática. .	69
Fig. 9: CMJ	73
Fig. 10: Squat jump.....	74
Fig. 11: CMJA	75
Fig. 12: Drop Jump	76
Fig. 13: Diagrama de flujo de las diferentes etapas del proceso de revisión sistemática.	89
Fig. 14: 5m sprint.....	92
Fig. 15: 10m sprint.....	94
Fig. 16: 20m sprint.....	95
Fig. 17: 30m sprint.....	96
Fig. 18: Sentadilla.....	98
Fig. 19: Diagrama Consort	110
Fig. 20: Test salto vertical	111
Fig. 21: Test COD.....	113
Fig. 22: Diagrama del consorte.....	130
Fig. 23: Programa de entrenamiento	133

1 . MARCO TEÓRICO

1.1 Origen de la problemática objeto de estudio

El propósito fundamental de atletas, entrenadores físicos e investigadores se centra en mejorar el rendimiento deportivo, lo que ha generado un creciente interés en las últimas décadas respecto a los métodos de entrenamiento empleados. En este sentido, se ha observado un aumento significativo en la aplicación de principios científicos para optimizar el rendimiento atlético. Con el constante incremento en el nivel competitivo de los deportistas, se ha generado una necesidad imperante de maximizar su rendimiento. Por ejemplo, investigaciones recientes han evidenciado un aumento en la velocidad de los jugadores profesionales, independientemente de su género o edad (143,326,334). Asimismo, se han identificado disparidades en función del nivel de los deportistas dentro de un mismo deporte, observándose que aquellos con un mayor nivel muestran una mayor velocidad, potencia y fuerza en comparación con aquellos de niveles inferiores (122). Adicionalmente, tanto en aspectos tácticos como técnicos, se ha notado un progresivo refinamiento de los equipos, tanto en su desempeño ofensivo como defensivo, lo que ha generado un aumento en la complejidad del juego y una disminución en la capacidad de sorprender al oponente. Esta evolución táctica ha contribuido a resaltar la importancia de las demandas físicas y fisiológicas en el ámbito deportivo.

Dentro de las exigencias presentes en la mayoría de los deportes, ya sean individuales o de equipo, se distinguen acciones que se desarrollan a distintos niveles de intensidad: moderada (jogging), baja (walking) y alta (por ejemplo, sprintar, saltar, cambio de dirección -CDD- o lanzamientos) (281). Las acciones de alta intensidad, breves, pero de máximo esfuerzo, suelen ser determinantes en los partidos o competiciones (291,313). Si bien el ejemplo se enfoca en el fútbol, es extrapolable a deportes como baloncesto, balonmano, tenis, entre otros. En un partido de fútbol, se estima que un jugador realiza alrededor de 1.350 acciones (una cada 4-6 segundos), siendo cruciales aquellas relacionadas con anotar un gol, brindar una asistencia o anticipar movimientos adversarios para reposicionarse. Estas acciones engloban aceleraciones/desaceleraciones, cambios de dirección y saltos (98,102,233,245,256,273,281). Mejorar estas capacidades es clave para alcanzar mayor rapidez, potencia y fuerza en dichas acciones, aspectos fundamentales considerados por preparadores físicos, entrenadores y atletas (9,24,232,252,291).

El ámbito del deporte femenino ha experimentado un notable aumento en popularidad y participación en la última década. Este crecimiento expone a las deportistas a mayores exigencias físicas competitivas. Por ende, comprender los cambios en el rendimiento de las jugadoras se vuelve crucial para el diseño de programas de entrenamiento más efectivos (247). Sin embargo, la literatura científica al respecto aún es limitada (39,100,254).

En el fútbol juvenil, la velocidad, agilidad y potencia se vuelven habilidades esenciales. Los jugadores que sobresalen en estas áreas suelen ser seleccionados con frecuencia (269). Para lograr altos niveles en estas capacidades físicas, el entrenamiento debe iniciarse tempranamente durante el desarrollo del atleta a largo plazo. Un enfoque estructurado en el entrenamiento de jóvenes atletas busca maximizar el talento deportivo, incrementando la probabilidad de convertir a un niño talentoso en un atleta de élite (193).

Las sesiones de entrenamiento deben integrar no solo tareas técnico-tácticas, sino también acciones de alta intensidad que demanden elevados niveles de fuerza muscular, especialmente en la zona inferior del cuerpo (256,316).

En muchos deportes, el éxito está vinculado con la fortaleza del tren inferior del deportista. En acciones cruciales, se requiere que el deportista aplique fuerza en intervalos muy cortos. Un aumento en la potencia permitirá mejorar el rendimiento en situaciones deportivas que demanden la mejor relación entre fuerza y velocidad. La potencia representa la cantidad de fuerza aplicada en una unidad de tiempo. Para su desarrollo, considerando su dependencia de fuerza y velocidad, se busca mejorar ambas cualidades o al menos una mientras se mantiene la otra (2,61,239).

En la literatura, se conoce la "optimal load" como el punto en una curva de fuerza-velocidad donde se alcanza la máxima producción de potencia mecánica (239). Anteriormente se creía que entrenar en este punto optimizaba al máximo el rendimiento. Sin embargo, actualmente se reconoce la necesidad de entrenar en las tres zonas: alta fuerza, alta potencia y alta velocidad (72,121).

Se ha observado que distintos ejercicios generan distintos niveles de "optimal load", es decir, distintas producciones de potencia. Al analizar diversos saltos como el "Squat

Jump" (SJ), el salto con contramovimiento (CMJ) y el salto con contramovimiento utilizando los brazos (CMJA), se evidencia que entre el SJ y el CMJ apenas varía la potencia pico, pero al compararse con el CMJA, se presenta un cambio significativo (317). De esta manera, la producción de potencia u "optimal load" depende considerablemente del ejercicio evaluado. En los saltos, la máxima producción de potencia tiende a ocurrir con cargas más bajas; en sentadillas, se encuentra con cargas medias, es decir, entre el 30 y el 60% de la repetición máxima (1RM), y en ejercicios olímpicos, con cargas altas (60,317). Cormie et al., (60) observaron cómo la máxima producción de potencia se logra con ejercicios más orientados hacia la velocidad, como el salto. Además, el nivel previo de rendimiento es un factor clave. En un estudio de Loturco et al., (198), se observó que sujetos menos entrenados alcanzaban una producción de potencia más alta con cargas no tan elevadas, mientras que aquellos bien entrenados lograban niveles más altos de potencia con cargas superiores (198).

Por consiguiente, una vez establecido que las acciones de máxima intensidad, las cuales son determinantes en el deporte, están vinculadas a la capacidad del atleta de generar mayor fuerza en períodos cortos (potencia), y que para mejorar esta capacidad es necesario entrenar en todos los rangos de la curva de fuerza-velocidad, surge la interrogante sobre cómo combinar diferentes métodos de entrenamiento para abarcar todo este rango y así optimizar mejoras en fuerza, velocidad, salto y cambios de dirección (CDD).

1.2 Estado actual sobre la problemática estudiada

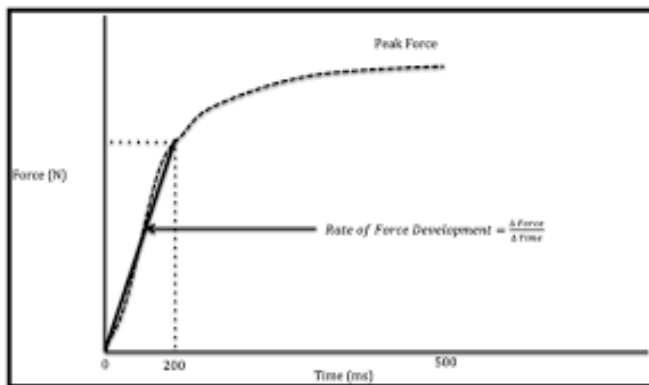
1.2.1 Factores Neuromusculares y morfológicos influyentes en la Potencia

Para comprender de manera más exhaustiva las mejoras en el rendimiento de las acciones explosivas atribuibles al entrenamiento, resulta imperativo adquirir un conocimiento profundo de los diversos factores intervinientes durante su ejecución. La literatura científica establece una amplia gama de elementos determinantes para el éxito de un atleta, abarcando aspectos fisiológicos, morfológicos y anatómicos.

1.2.1.1 Ratio de desarrollo de la fuerza

La fuerza explosiva se define como la habilidad para incrementar la fuerza o torque en el menor tiempo posible durante una contracción voluntaria rápida, realizada desde un nivel basal o de reposo. La tasa de desarrollo de la fuerza (RFD), derivada de las curvas de fuerza-tiempo durante contracciones voluntarias explosivas (véase Figura 1) (1), comúnmente denominadas acciones rápidas o balísticas, está siendo cada vez más evaluada para caracterizar la capacidad explosiva de atletas, personas mayores y pacientes. Esta tendencia se fundamenta principalmente en que, en comparación con la fuerza de contracción voluntaria máxima pura (MVC), la RFD parece (A) correlacionarse de manera más efectiva con numerosos desempeños en tareas funcionales diarias y específicas del ámbito deportivo (205,325) y (B) ser más sensible para detectar variaciones agudas y crónicas en la función neuromuscular (12,64,164,249). En consecuencia, la habilidad para medir e interpretar adecuadamente la RFD obtenida durante contracciones isométricas voluntarias es de suma importancia no solo para investigadores en los campos de la fisiología humana y el ejercicio, sino también para profesionales del entrenamiento físico y la rehabilitación.

Fig. 1: RFD

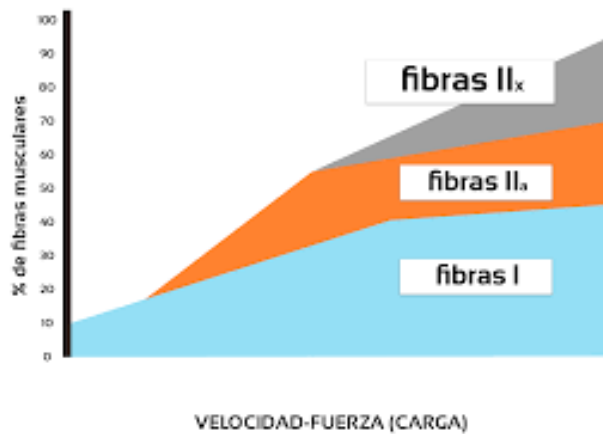


1.2.1.2 Reclutamiento de unidades motoras

Henneman et al., (145) indicaron que las Unidades Motoras (UM) se activan secuencialmente de acuerdo con su tamaño, siguiendo una progresión de menor a mayor (véase figura 2). Por consiguiente, la selección de UM responde a la magnitud de la fuerza

y la RFD requeridas en una tarea específica. Por ejemplo, las UM más pequeñas, que incluyen fibras de tipo I de contracción lenta, se activarán en situaciones donde se necesite una menor magnitud de fuerza y RFD, mientras que las UM más grandes, que comprenden fibras de tipo IIa/IIx de contracción rápida, solo se reclutarán ante demandas de fuerza y RFD elevadas. Esta secuencia de reclutamiento puede mantenerse durante acciones isométricas lentas y graduales (231). Aunque los umbrales para la activación de UM podrían reducirse durante movimientos balísticos debido a la alta RFD requerida, el principio del tamaño de las UM parece mantenerse (204,332). El tipo de actividad y su intención pueden influir directamente en la selección y adaptación de las UM (84,288,332). Por ejemplo, los corredores de larga distancia tienden a activar UM de bajo umbral y fatiga lenta, compuestas por fibras de tipo I, debido a las demandas moderadas y repetitivas de fuerza durante la carrera. Por ende, aunque las UM de tipo I pueden mejorar la capacidad de producción de fuerza, la fuerza máxima expresada en atletas de resistencia puede ser relativamente baja, dado el limitado reclutamiento de UM que contienen fibras tipo II durante el entrenamiento. En contraste, atletas involucrados en actividades balísticas como sprints o saltos, que demandan altas fuerzas y RFD, apuntan hacia la activación de UM que albergan fibras de tipo II. Es probable que, en deportes más explosivos, los deportistas recluten UM con fibras tanto de tipo I como II, permitiendo entrenar ambos tipos de UM. Investigaciones previas han evidenciado que, tras el entrenamiento balístico, se observa un reclutamiento de UM a umbrales de fuerza más bajos durante acciones balísticas y de incremento gradual (332). En términos del desarrollo de la fuerza, parece ser beneficioso involucrar UM de alto umbral durante el entrenamiento. Asimismo, los métodos de entrenamiento balístico pueden fomentar la activación de UM más grandes, compuestas por fibras de tipo II, en umbrales inferiores, incrementando así el potencial para adaptaciones positivas en la fuerza y la potencia (204).

Fig. 2: Orden de reclutamiento de unidades motoras



1.2.1.3 Sincronización de unidades motoras

La sincronización de UM se refiere a la activación simultánea de dos o más unidades motoras con una frecuencia mayor a la esperada en procesos aleatorios independientes (231). Aunque aún no se ha confirmado de manera concluyente, se ha sugerido la hipótesis de que esta sincronización puede potenciar la producción de fuerza y tener una influencia positiva en la RFD (178,300). También se especula que esta sincronización representa una adaptación del sistema nervioso que facilita la coactivación de diversos músculos para mejorar la RFD (221,301).

El impacto exacto de la sincronización en la fuerza o la RFD no es evidente. Estudios no han encontrado diferencias en la producción de fuerza entre la activación de UM sincrónicas y asíncronas a frecuencias similares a las observadas en MVC, y se ha demostrado que las descargas asíncronas de potenciales de acción generan una mayor producción de fuerza a frecuencias de disparo submáximas (191,259). Además, las contracciones voluntarias han demostrado producir una RFD mayor que las contracciones tetánicas inducidas, donde todas las UM se estimulan para activarse simultáneamente (230).

No obstante, se plantea la posibilidad de que la sincronización sea una estrategia para la coordinación intermuscular, lo que podría influir en la fuerza y/o la RFD durante movimientos complejos que involucran múltiples articulaciones, a diferencia de

movimientos aislados de una sola articulación donde la sincronización no parece tener un impacto significativo (204). Se ha especulado que la sincronización entre los músculos puede ser una estrategia para simplificar y coordinar la actividad muscular en articulaciones mecánicamente inestables (por ejemplo, el control de la articulación patelofemoral por los músculos vasto medial y lateral) (221), lo que posibilitaría una mejor transmisión de potencia en movimientos complejos.

Por tanto, se necesita más investigación para determinar si la sincronización de UM contribuye a mejorar la producción máxima de potencia, especialmente en movimientos complejos que involucran múltiples articulaciones. Desde un punto de vista práctico, parece que las estrategias de entrenamiento que incorporan ejercicios de fuerza intensos y/o movimientos balísticos podrían mejorar la sincronización de las UM. Aunque la investigación que examina los cambios en la sincronización de UM en el contexto del entrenamiento de fuerza (EF) y movimientos motores gruesos es limitada, no se puede descartar la relación entre patrones mejorados de activación neuromuscular y la producción posterior de fuerza.

1.2.1.4 Frecuencia de descarga

El incremento en la fuerza muscular más allá del límite superior del reclutamiento de UM se atribuye fundamentalmente a una mayor tasa de descarga (ver Figura 3). En la mayoría de los músculos, la velocidad máxima a la que las UM desencadenan potenciales de acción durante contracciones isométricas sostenidas de alta intensidad oscila entre 30 y 60 hercios (Hz) (83). Por el contrario, las tasas de descarga instantánea de las UM al inicio de una contracción rápida a menudo alcanzan valores de 60 a 120 Hz en individuos no entrenados (76) y superiores a 200 Hz en individuos entrenados. Durante acciones de rápida ejecución, las UM activadas se descargan solo unas pocas veces (~1-6) (331,332). En contraste con las contracciones lentas, durante las cuales la tasa de descarga de las UM aumenta gradualmente, las contracciones rápidas se caracterizan por una alta tasa de descarga inicial al inicio de la activación, la cual disminuye progresivamente con descargas sucesivas (76,174,332). Estas observaciones subrayan las diferencias en el patrón de activación de las UM según la velocidad de la contracción.

Del Vecchio et al., (74) notaron que la mayoría de las neuronas motoras comenzaron a descargarse antes del aumento en la fuerza. La actividad de las neuronas motoras superiores determina la respuesta de todo o nada de las neuronas motoras inferiores. Por ende, un reclutamiento más rápido de neuronas dentro de la corteza cerebral puede ser el mecanismo que conduce a un reclutamiento más comprimido de neuronas motoras espinales en individuos capaces de alcanzar una mayor tasa de desarrollo de fuerza. La relación entre las descargas promedio por unidad motora por segundo y la velocidad de reclutamiento de las neuronas motoras evidencia la transmisión de información cortical por parte del grupo de neuronas motoras. Cuando el sistema nervioso central requiere máxima velocidad, proyecta una entrada sináptica fuerte al conjunto completo de neuronas motoras, determinando tanto el reclutamiento rápido como las altas tasas de descarga. Aunque se ha especulado que el reclutamiento de unidades motoras puede no ser un factor determinante para la máxima fuerza producida (82), se observa que un mayor número de descargas por UM por segundo se asocia con un reclutamiento más veloz de UM y, por ende, con una mayor tasa máxima de desarrollo de fuerza. Se podría argumentar que una entrada común más distribuida a las neuronas motoras podría contribuir a un aumento en la sincronización de las UM y en la tasa de desarrollo de la fuerza máxima (301). Sin embargo, la asociación entre la sincronización de unidades motoras y la tasa de desarrollo de la fuerza puede no ser significativa (94).

La generación de fuerza explosiva se vio influenciada por un rápido aumento en la entrada sináptica hacia las neuronas motoras, lo que determinó tanto un reclutamiento veloz como altas tasas de descarga. Estos dos mecanismos son interdependientes, ya que ambos están vinculados a la entrada hacia el conjunto de neuronas motoras. Esta característica de las neuronas motoras ha sido observada en estudios *in vitro* mediante la aplicación de corrientes elevadas en la neurona motora (115). La velocidad inicial de descarga de las neuronas motoras está correlacionada con la intensidad de la corriente inyectada (115). La fuerza de las señales corticoespinales requeridas para generar fuerza explosiva probablemente determina la elevada tasa inicial de descarga de las neuronas motoras. Se ha observado una disminución no lineal en la tasa de descarga que coincide con la adaptación de la frecuencia pico observada *in vitro* en neuronas motoras individuales (74,115,294) la cual está asociada con la inactivación de la conductancia de Na⁺ (229). Sawczuk et al. (294) demostraron que la adaptación de la frecuencia pico de las neuronas motoras en ratas sigue un patrón de rápida disminución en la tasa de descarga, seguido

por un descenso lineal y exponencial. Estos resultados sugieren que la fuerza de la señal corticoespinal determina la variabilidad humana en la fuerza explosiva. Además, revelan una notable correlación entre los hallazgos obtenidos *in vitro* e *in vivo* mediante la técnica actualmente propuesta.

Fig. 3: Frecuencia de descarga de unidades motoras

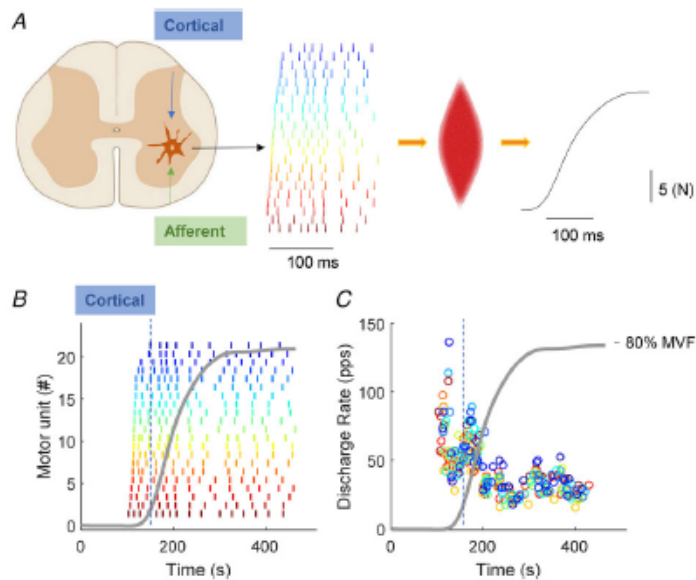


Figure 1. The neuromuscular system: spiking motor neurons and whole muscle force
 A, representative example of the motor neuron discharge timings from the spinal cord with the resultant force output. B, twenty-two motor units were identified during an explosive contraction normalized to maximal voluntary force (MVF, in grey). C, discharge rate of the motor units shown in (A). The orange line corresponds to the average number of discharges per motor unit per second (during a moving 35 ms time interval), which is an estimate of the neural drive to the muscle.

1.2.1.5 Coordinación intermuscular

La coordinación intermuscular se refiere a la activación adecuada (tanto en magnitud como en tiempo) de los músculos agonistas, sinergistas y antagonistas durante un movimiento. Para lograr un movimiento altamente eficaz y eficiente, la activación del agonista debe complementarse con una mayor actividad sinérgica y una menor co-contracción de los antagonistas (290). Se requiere la activación coordinada de estos músculos para generar la mayor fuerza posible en la dirección del movimiento (290). En una tarea de movimiento complejo como correr, una multitud de músculos diferentes deben activarse en los momentos e intensidades apropiados para maximizar la velocidad. Optimizar el momento de la activación de los músculos agonistas y antagonistas puede permitir una menor co-contracción en un punto apropiado de contracción y, por lo tanto,

una mejor velocidad de movimiento (13,118,128,293). Durante la “triple extensión” (es decir, extensión de las caderas, las rodillas y la flexión plantar de los tobillos) de las extremidades inferiores, la cual se da en la carrera de velocidad, implica una interacción bastante compleja de unidades músculo-tendinosas uniarticulares y multiarticulares que realizan diversas acciones. Solo con la sincronización precisa y el nivel de activación y relajación de los agonistas, sinergistas y antagonistas se optimizará el flujo de energía a través de la cadena cinética, se maximizará el impulso en el suelo y, por lo tanto, se maximizará el rendimiento en términos de velocidad de despegue. De este modo, la capacidad de generar la máxima producción de potencia durante los movimientos atléticos está considerablemente influenciada por la coordinación intermuscular (61).

La medición de los cambios producidos por el entrenamiento se puede observar en la modificación de la técnica vista a través del análisis biomecánico. Alternativamente, una medición más directa usando electromiografía permite una evaluación detallada de los cambios en la activación muscular como resultado del entrenamiento (101).

1.2.1.6 Ciclo de estiramiento-acortamiento

La acción pliométrica, también conocida como ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA), se compone de tres fases basadas en la contracción muscular (35,177,336).

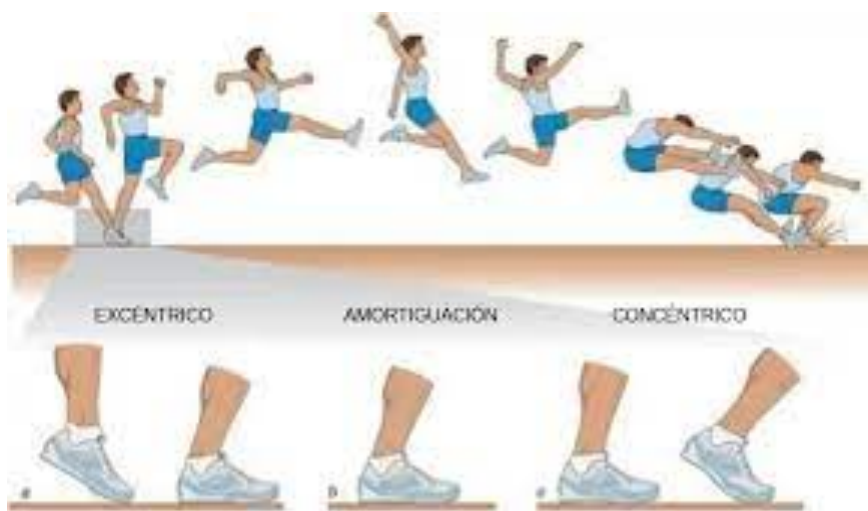
La primera fase es la fase donde se produce una contracción excéntrica o también denominada fase de pre-estiramiento, debido a que durante la contracción se produce un alargamiento del músculo. En esta fase, se absorben y almacenan las cargas articulares en los componentes elásticos de la unidad tendón-músculo. Diferentes factores influyen en la capacidad del músculo para almacenar y dar uso a la energía elástica acumulada, entre los que se destacan el grado de estiramiento, la velocidad a la que se produce el estiramiento, la magnitud de la carga, el tiempo de transición o cantidad de tiempo que el estiramiento es mantenido, la arquitectura del músculo o la posición de la articulación. La segunda fase se conoce como fase de amortización, después de la fase excéntrica, en esta fase la longitud del músculo no varía. Es una fase de vital importancia en el CEA, debido a que el periodo no debe ser muy prolongado en el tiempo puesto que si lo es, no se podrá utilizar la energía elástica para la producción de fuerza, porque dicha energía

habrá sido disipada (48). En la última fase se produce la contracción concéntrica también conocida como fase de acortamiento (Figura 4). En ella, además de la activación muscular voluntaria para producir una fuerte contracción concéntrica se le añade la energía elástica acumulada de las anteriores fases (89). Por este motivo, el CEA mejora la producción de fuerza muscular y aumenta la eficiencia en los movimientos (35,177).

En resumen, mediante el CEA el músculo es capaz de producir mayores niveles de fuerza durante la fase concéntrica si anteriormente ha sido estirado mediante una fase excéntrica. Un ejemplo claro se observa en los saltos CMJ, donde la potencia que se alcanza es superior a la potencia obtenida en SJ. Esto se debe a que durante el CMJ se utiliza la energía elástica que se ha acumulado en los músculos del tren inferior en la acción de flexión de piernas. La utilización de la elasticidad por parte de los tendones y los músculos es más alta en las acciones acompañadas por CEA (35,177).

Cuando se realiza un salto simple, la acumulación y la recuperación de la energía elástica del complejo músculo-tendón aporta en un 25-50% a aumentar el rendimiento en un salto CMJ (172). Se ha observado que, las ganancias entre los tests propuestos anteriormente las mejoras observadas se encuentran entre un 15-20% (34). En base a las consideraciones planteadas, en la literatura acerca del entrenamiento, parece que los ejercicios pliométricos que se basan en el CEA podrían ser la mejor opción para maximizar estas adaptaciones y de esta forma optimizar las ganancias de potencia (13,200,215,241,310,336)

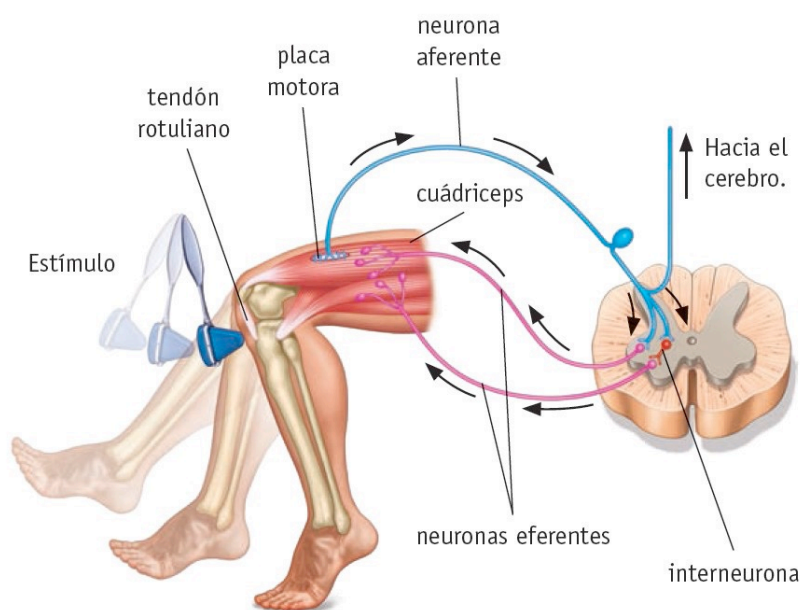
Fig. 4: Ciclo estiramiento-acortamiento



1.2.1.7 Reflejo miotático

Otro mecanismo propuesto para contribuir a la producción de potencia máxima mejorada durante los movimientos CEA es la activación de los reflejos espinales (Figura 5). El alargamiento forzado de las unidades músculo-tendinosas durante la fase excéntrica de los movimientos del CEA provoca una deformación mecánica de los husos musculares, lo que activa mecanismos reflejos (reflejos de estiramiento (RE)) (297). Posteriormente, el RE aumenta la estimulación muscular, lo que resulta en una mayor fuerza de contracción durante la fase concéntrica y, en última instancia, contribuye a mejorar la producción de potencia máxima (37,111,176,242,328,338). A pesar de algunas controversias, el consenso dentro de la literatura parece ser que los movimientos CEA evocan un RE de suficiente magnitud para contribuir al aumento de la fuerza muscular durante la fase concéntrica. Este reflejo actúa para equiparar fuerzas. Cuanto mayor sea la fuerza externa aplicada a un músculo mayor será la contracción refleja del propio músculo para igualarla (37,111,161,176,242,328). Por lo tanto, el desarrollo de la potencia máxima durante los movimientos CEA puede verse influenciado en algún grado por la activación de los RE de forma que un estímulo reflejo puede provocar una movilización extraordinaria de las reservas funcionales latentes del sistema neuromuscular, lo que es imposible cuando sólo depende de un esfuerzo voluntario (176).

Fig. 5: Reflejo miotático



1.2.1.8 Tipo de fibras reclutadas

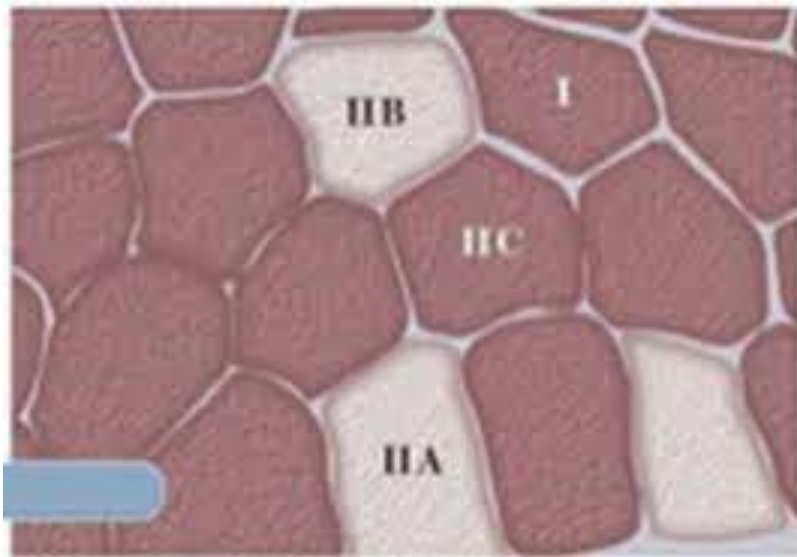
A pesar de que se requiere precaución al deducir la importancia funcional de las diferencias en las propiedades de una sola fibra (Figura 6) (88), el tipo de fibra ha cobrado mucha importancia debido a su influencia en el RFD muscular, ya que la tasa de desarrollo de la fuerza es más rápida en las fibras de tipo II en comparación con las fibras de tipo I (43,136). Esto se debe al hecho de que las fibras tipo II tienen una mayor liberación total de calcio (Ca^{2+}) en cada potencial de acción (23), sumado a este fenómeno las corrientes de Ca^{2+} tienen constantes más rápidas (55), así como isoformas rápidas de miosina, troponina y tropomiosina (295). Por lo tanto, la conexión entre el puente cruzado se produce de forma más rápida (38). Además, entre los diferentes tipos de músculos esqueléticos se encuentran diferencias en cuanto al tipo de fibra. Por ejemplo, el vasto lateral, vasto medial y vasto intermedio contienen aproximadamente un 50% de fibras tipo I (168,199,319), a diferencia de otros músculos como es el caso del sóleo que contiene un 75% o el gastrocnemio que comprende un 45-75% de fibras tipo I.

Por lo tanto, la producción de potencia máxima ($P_{\text{máx}}$) de un músculo se va a ver influenciada por el tipo de fibra de las que se compone. Los músculos que contienen mayor porcentaje de fibras tipo II producen una mayor $P_{\text{máx}}$ si lo comparamos con los músculos con un alto porcentaje de fibras tipo I (220,323,324). Al compararse los atletas de élite de diferentes modalidades, se ha encontrado que en los deportistas que su disciplina se basa en la fuerza-potencia el tipo de fibras predominantes son de tipo II, a diferencia de los atletas de disciplinas de resistencia donde el predominio en este caso se encuentra a favor de las fibras tipo I. Las comparaciones transversales han revelado que los atletas de fuerza-potencia de élite tienen predominantemente fibras tipo II, mientras que los atletas de resistencia de élite muestran un predominio de fibras tipo I (63,112). A pesar del entrenamiento, hay una creencia de que aproximadamente el 45% de las diferencias en el tipo de fibras musculares se debe a factores hereditarios (305).

Se han encontrado hallazgos que indican que las fibras pueden transformarse del tipo I al tipo II y viceversa después de periodos de entrenamiento intenso o por desentrenamiento (11,104,163,187), dichos cambios indican la capacidad plástica en la composición del tipo de fibra según las condiciones ambientales (305). No obstante, no está resuelto el tema de las transformaciones entre las fibras tipo I y tipo II por lo que se necesitan futuras

investigaciones para poder entender de forma más precisa las condiciones de dichas transformaciones (190).

Fig. 6: Diferentes tipos de fibras musculares



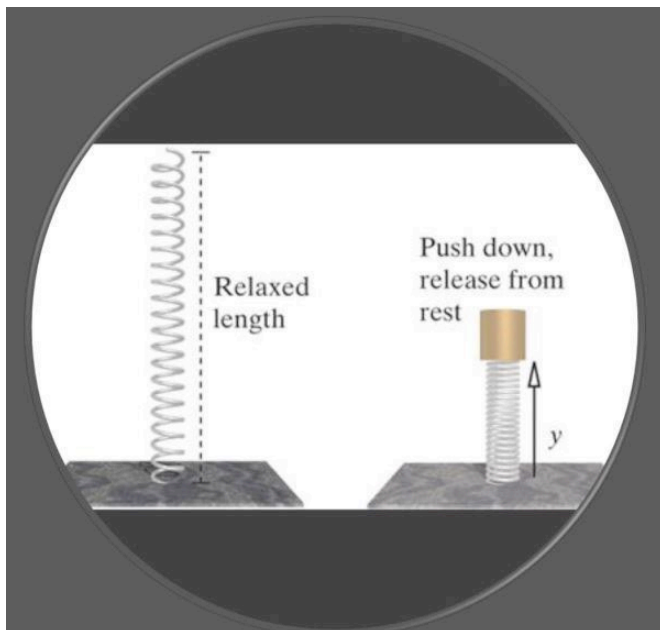
1.2.1.9 Rigidez “Stiffness”

El término rigidez proviene de la física, como parte de la ley de Hooke. De forma que la velocidad de transmisión de la fuerza a través de un material es influenciada por la rigidez del material: $v = \sqrt{kx/\mu}$, donde v es la velocidad de transmisión de la fuerza, k es la rigidez del material, x es la longitud relativa a la longitud en reposo y μ es la relación masa: longitud del material (Figura 7). Como la rigidez del tejido es inversamente proporcional a la longitud, los tejidos más largos (tanto músculos como tendones) son más flexibles y la transmisión de la fuerza puede ser más lenta. Este concepto fue claramente demostrado por Wilkie et al., (348) y podría explicar las grandes diferencias entre los músculos; por ejemplo, se espera una transmisión de fuerza más lenta para los flexores plantares, que funcionan a través del tendón de Aquiles y la fascia plantar del pie, que los cuádriceps, que funcionan a través del tendón rotuliano más corto (33,343).

Dado que las velocidades de transmisión de la fuerza a través de materiales como los tendones son extremadamente rápidas (es decir, milisegundos para el tendón de Aquiles) (77,243), es posible que se necesiten cambios considerablemente grandes en la rigidez

con el entrenamiento o el desuso para impactar significativamente en la RFD. Pero en la actualidad existen pocos datos sobre la posible adaptabilidad de la distensibilidad del tendón en respuesta al ejercicio (185,345) y los datos transversales hasta la fecha han revelado resultados contradictorios (33,186). Kubo et al. (186) informaron de una relación negativa entre el rendimiento del sprint y la distensibilidad del tendón ($r=-0,757$), lo que indica que una mayor distensibilidad es beneficiosa para el rendimiento del sprint. Por el contrario, Bojsen-Møller et al., (33) observaron que la RFD del extensor de la rodilla se relacionaba positivamente con la rigidez de la aponeurosis del tendón del vasto lateral ($r = 0,55$), lo que sugiere que una menor distensibilidad se asocia con un mayor rendimiento muscular. Por lo tanto, es esencial seguir investigando para determinar la influencia específica de la distensibilidad del tendón en la producción de $P_{\text{máx}}$ y si esta propiedad del tendón es modificable por el ejercicio.

Fig. 7: Ejemplo "Stiffness" a través de un sistema de muelles



1.2.2 Métodos de entrenamiento de la potencia

En la actualidad, la fuerza muscular es reconocida como una cualidad física fundamental para cualquier atleta o entrenador con el objetivo de la mejora del rendimiento deportivo. La fuerza es importante en todas las disciplinas deportivas y un factor determinante del rendimiento en la mayoría de ellas. En los últimos tiempos, la aplicación de principios

científicos para el estudio del rendimiento de los atletas ha recibido mayor atención. Por tanto, la búsqueda de nuevas técnicas para incrementar la fuerza y optimizar la preparación del deportista son aspectos clave para garantizar la calidad en la práctica deportiva.

Como ya se ha comentado anteriormente, la aplicación más rápida de la fuerza mejora la relación fuerza-tiempo o producción de fuerza en la unidad de tiempo (fuerza explosiva), así como la potencia desarrollada en cualquier acción deportiva. Un incremento en la potencia da al atleta la posibilidad de mejorar su rendimiento en deportes en los que se busca la mejora de la relación velocidad-fuerza, ya que significa para el atleta rematar mejor, interceptar antes un balón, saltar más o lanzar más rápido.

1.2.2.1 Fuerza

El entrenamiento de fuerza conocido como “entrenamiento clásico” se basa en el entrenamiento en cuyo objetivo consiste en vencer resistencias externas normalmente en contra de la gravedad, mediante la acción muscular de uno o varios grupos musculares implicados.

La resistencia frecuentemente utilizada se denomina pesos libres o poleas. Existen diferentes materiales alternativos para poder entrenar la fuerza, como son los dispositivos hidráulicos, las resistencias elásticas etc. En uno de los metaanálisis que incluye esta investigación se ha analizado el trabajo de fuerza con pesos libres, ya que se ha observado que es el más eficaz para mejorar el rendimiento (162). Sumado a esto encontramos que los pesos libres son más accesibles para la mayoría de los deportistas y es más aplicable a la mayoría de los deportes. Por tanto, la realización de un programa de EF sistematizado es el mejor método para mejorar la fuerza máxima y obtener hipertrofia en los deportistas (219).

Una vez comprendido la importancia del EF es necesario entender que dentro de cualquier movimiento del ser humano va a tener una especificidad en comparación con otros movimientos (290), cuando se traslada al deporte, se observa que cada disciplina va a tener unos patrones de movimiento diferentes, estos van a provocar adaptaciones tanto en los patrones motores como en la fuerza y velocidad de dichas acciones (124). Por lo tanto,

las adaptaciones al entrenamiento que se van a obtener van a ser específicas del estímulo aplicado. Dichas adaptaciones fisiológicas van a depender de las acciones musculares que se realicen (138); la velocidad de los movimientos (138); los grupos musculares entrenados (99); los sistemas energéticos solicitados (183); la intensidad y el volumen de entrenamiento (57). Es importante tener todos estos aspectos en cuenta, puesto que, a pesar de haber programas de entrenamientos de fuerza genéricos, hay que individualizar lo máximo posible los programas de fuerza para buscar objetivos específicos del deporte en cuestión.

Por otro lado, a la hora de seleccionar las cargas de trabajo en función de la curva de fuerza-tiempo se ha observado diferentes resultados en función del entrenamiento con cargas ligeras, cargas medias o cargas pesadas (126). De esta forma después de un entrenamiento con cargas altas las adaptaciones obtenidas se van a manifestar en la parte alta de la curva a diferencia de si la selección de la carga es baja donde las adaptaciones aparecerán en la parte baja de la curva. Esta se producirá porque en la primera se dispondrá de más tiempo para desarrollar la fuerza y con cargas bajas la fuerza mejora cuando el tiempo para aplicar fuerza sea menor. Por lo que se seguiría cumpliendo el principio de especificidad, ya que se mejora en mayor medida lo que se ha entrenado (114,169,234,350).

Además, se piensa que el nivel del sujeto también va a influir en la elección de las cargas. Se considera que para los atletas más fuertes se necesitan cargas superiores (40% de 1RM en sentadilla profunda) comparado con los sujetos con niveles de fuerza inferiores (10% de 1RM) para alcanzar la máxima potencia (314). El tipo de entrenamiento podría tener algo de relevancia de forma que los sujetos que entrenan tanto en fuerza máxima como en potencia obtendrán su pico de potencia con porcentajes mayores comparado con los sujetos que entrenan únicamente en fuerza máxima (21). De todas formas, todavía es un tema con controversia por lo que necesita de mayor investigación.

La frecuencia de entrenamiento es otro punto importante que también ha sido estudiado, la búsqueda de la frecuencia optima (N.º sesiones a la semana) va a depender de otras variables como son el volumen, la intensidad, la selección de ejercicios, el nivel de rendimiento del sujeto, la capacidad de recuperación, así como del número de grupos musculares trabajados por sesión (184). Se ha mostrado en un número amplio de estudios

que frecuencias de 2-3 días por semana de forma alternativa es efectiva para mejorar el rendimiento en sujetos no entrenados (30,40,44,138). Y frecuencias de 1-2 días parecen ser suficientes para mantener el nivel de rendimiento en sujetos que ya entrenados (116). Cuando se comparan diferentes frecuencias se ha observado que las frecuencias de entrenamiento más altas obtienen mejores resultados que frecuencias más bajas, 3 días comparado con 1 o 2 días y 2 comparado con 1 día (116,127,329) también, se observó con frecuencia de 4 días comparado con 3 días (30) un aumento similar de la fuerza máxima.

Por otra parte, cuando los sujetos tienen un nivel más intermedio no parece tan importante la frecuencia en cuanto a los grupos musculares sino que parece ser que las mejoras van a depender más del volumen y/o la intensidad (184). En sujetos de alto nivel frecuencias de hasta 6 días a la semana con jugadores profesionales de fútbol americano se obtuvieron mejoras en el rendimiento en comparación con 4 días a la semana (154). En levantadores de peso de élite se pueden llegar a utilizar frecuencias de entrenamiento entre 8 y 12 sesiones por semana (130,361).

Por último, el volumen de entrenamiento en deportistas jóvenes se ha observado que se obtienen mayores mejoras en la fuerza a alta intensidad utilizando volúmenes moderados en comparación con volúmenes de entrenamiento bajos o altos (113,114).

Dentro del entrenamiento de fuerza podemos encontrar diferentes métodos en función del objetivo que se intente conseguir, como por ejemplo los métodos balísticos, los cuales enfatizan en las acciones explosivas, o los métodos con énfasis excéntrico en los cuales se le da mayor importancia a la fase negativa del movimiento.

Ejercicios tradicionales

Se incluyen los ejercicios que tradicionalmente se han incluido dentro del *powerlifting* como son la sentadilla, el peso muerto o el press de banca (92). Estos ejercicios, aunque son ejercicios interesantes para mejorar la fuerza o la potencia hay que tener en consideración que durante la fase final del movimiento concéntrico se va producir una fase de desaceleración para frenar la carga (87,240) para poder desacelerar el movimiento se produce una disminución de la actividad muscular del agonista y un aumento de la actividad del antagonista (240). Aunque tiene efectos positivos, la transferencia a las acciones deportivas es limitada. Por este motivo se recomienda combinar este

entrenamiento con otros métodos que lleven a cabo movimientos mecánicamente más específicos (61).

Ejercicios balísticos

Dentro de este método se incluyen ejercicios como la sentadilla con salto o el *press* de banca lanzado, estos ejercicios se diferencian de los tradicionales por el hecho de que no se produce una fase de desaceleración al final del movimiento para poder lanzar la carga (240). Con los ejercicios balísticos se obtienen mayores niveles de velocidad concéntrica, potencia y activación muscular que los ejercicios tradicionales (60,240), por ello se considera que estos ejercicios son más específicos del deporte y por ende su transferencia sea mayor, siendo recomendado incluirlos dentro del programa de entrenamiento para la mejora de la potencia (59,182,240)

Ejercicios olímpicos

Los ejercicios olímpicos dentro de los cuales se engloba el *snatch*, *clean*, *jerk* y sus variantes son ejercicios similares los balísticos ya que permiten una aceleración a lo largo de todo el recorrido, de toda la fase propulsiva (108,296). Estos ejercicios al ser necesitar altas velocidades y fuerza se consiguen altos niveles de potencia en diferentes rangos de la carga (61), pero las cargas óptimas para alcanzar potencia máxima se encuentran entre el 75-80% del 1RM en el *snatch* y el *clean* (171). A todo esto, hay que añadir que su similitud con los patrones de movimiento del salto o el sprint va a facilitar su transferencia al gesto deportivo (156). El único problema que se encuentra en estos ejercicios es su elevada complejidad técnica, por lo que se necesita dominar su ejecución antes de utilizar cargas elevadas.

Sobrecarga excéntrica

El entrenamiento con sobrecarga excéntrica es un método muy utilizado en la actualidad tanto para el rendimiento, la prevención de lesiones o la rehabilitación (19,158,275). La aplicación de este método mayoritariamente en el deporte se está utilizando por medio de un dispositivo isoinercial que genera la sobrecarga excéntrica. Este dispositivo aprovecha la inercia de volantes giratorios durante los movimientos del atleta. La tecnología *flywheel*, que simula el mecanismo de una máquina yo-yo (320), permite cargas de resistencia lineal ilimitadas durante acciones musculares concéntricas y excéntricas, con la posibilidad de regular las sobrecargas de resistencia en cada repetición. Este dispositivo

proporciona una fuerza de resistencia (en la fase excéntrica) proporcional a la generada por el esfuerzo concéntrico del atleta. La fuerza de inercia es generada por el volante giratorio en forma de cono, que permite al atleta moverse libremente dentro de las tres dimensiones espaciales (315). La carga de entrenamiento de este dispositivo se puede regular aumentando la velocidad de movimiento o añadiendo pesos volante (244). Debido a la ausencia de fuerza de fricción, la energía de las fases concéntrica y excéntrica es idéntica, lo que permite un gran esfuerzo excéntrico, con un costo metabólico muy bajo (46).

El entrenamiento de fuerza en edades tempranas ha sido cuestionado durante muchos años, se decía que el entrenamiento de fuerza produciría inconvenientes en el desarrollo general del niño o que provocaría efectos perjudiciales tanto biológicos como fisiológicos que afectarían a su evolución natural. En las últimas décadas estas corrientes están siendo descartadas, se comienza a considerar que mientras se tenga en consideración la etapa en la que se encuentra el sujeto, se respete su desarrollo evitando sobrecargas y el programa metodológicamente se plantea correctamente, el entrenamiento de fuerza va a ser conveniente (20,123)

Aunque a día de hoy ya hay estudios que demuestran que el EF es beneficioso puesto que refuerza el sistema óseo y estructural de soporte, además de que contribuye a prevenir lesiones a nivel muscular y ligamentosas (213,351), todavía no se dispone de suficientes estudios que permitan demostrar beneficios claros lo que hace que haya muchos entrenadores o clubs que se opongan a implantar el EF en niños. No tiene coherencia programar un programa de entrenamiento para un niño que se aplicaría a un adulto a nivel físico como biológico, pero sí ir introduciendo a los deportistas jóvenes en el trabajo de fuerza.

De todas formas, la importancia del efecto real del EF en edades tempranas es muy importante para disminuir el riesgo de lesiones, reforzando los tendones y estabilizando las articulaciones, siendo estas capaces de soportar más tensión (29,227,351). A su misma vez, se producirá unas adaptaciones a nivel neuromuscular como es una mejor activación muscular, más rápida mejorando la eficiencia motora (355). Por todos estos motivos no realizar un programa de fuerza desde edades tempranas va a ocasionar que los niños no obtengan un desarrollo integral y motriz adecuado, por lo que cuando pase a una etapa

superior, no habrá conseguido todo el potencial perdiendo un tiempo posiblemente irrecuperable para ser un deportista en potencia en un futuro.

1.2.2.2 Pliometría y salto vertical

Los ejercicios PL son ejercicios caracterizados por acciones musculares rápidas de CEA que favorece la capacidad de los músculos para producir energía (71). A su vez, favorece la producción de niveles máximos de fuerza en cortos periodos de tiempo por parte del complejo músculo-tendón (279). Generalmente se ha sugerido la utilización de la PL para obtener la explosividad necesaria para aumentar el rendimiento del salto vertical y horizontal (18,27,120,150,363). Una gran cantidad de ejercicios se clasifican como PL, incluida una variedad de saltos tanto unilaterales como bilaterales, lanzamientos de balón medicinal, flexiones, rebotes, saltos (71). Si bien los ejercicios PL son de naturaleza balística, se distinguen de ejercicios balísticos específicos debido a la forma en que estos ejercicios están sobrecargados. Por lo general, los ejercicios PL se realizan con poca o ninguna resistencia externa, como solo con la masa corporal o con un balón medicinal ligero, chaleco etc. y la sobrecarga se aplica aumentando la tasa de estiramiento al minimizar la duración del CEA y/o la carga de estiramiento, por ejemplo, aumentando la altura de la caída durante los saltos de caída (336). De esta forma en base al impacto que van a generar los ejercicios PL sobre las articulaciones del sujeto se puede clasificar en ejercicios de bajo impacto a aquellos focalizados en la mejora de la fuerza elástico-explosiva, en estos ejercicios se realiza una fase de bajada o fase excéntrica rápida y alcanzando profundidad en la bajada para continuar con una explosiva acción concéntrica, finalizando el ejercicio con un solo salto. El segundo tipo, la PL de alto impacto, en la cual a diferencia de la anterior se enlazan acciones, se trabaja el reflejo miotático, se pueden utilizar cajones para caer y de esta forma activar el reflejo miotático (27,339).

Por otro lado, los ejercicios PL también se pueden adaptar para entrenar movimientos CEA cortos caracterizados por una duración de 100 a 250 ms (es decir, contacto con el suelo en carreras de velocidad, salto largo o alto), o movimientos CEA largos caracterizados por una duración superior a 250 ms (es decir, CMJ o tirar) (316). Como resultado de la capacidad de situar como objetivo a CEA tanto cortos como largos, así como la naturaleza balística de estos movimientos, los ejercicios PL son muy específicos

para una variedad de movimientos típicos del deporte. Por lo tanto, no sorprende que se haya demostrado que el uso de la PL en los programas de entrenamiento de potencia mejora significativamente la producción de potencia máxima durante los movimientos específicos de los deportes (2,51,96,201,217,327,350).

Sin embargo, estas mejoras suelen estar restringidas a movimientos CEA de baja carga/alta velocidad (327,350). La literatura actual que implica el uso de entrenamiento PL no proporciona mucha información sobre los mecanismos que impulsan las mejoras en la potencia máxima. De manera similar a los ejercicios balísticos, se teoriza que la PL provoca adaptaciones específicas en el impulso neural, la tasa de activación neural y el control intermuscular, lo que resulta en una mejor capacidad de RFD (51,316). También se supone que las adaptaciones a los mecanismos antes mencionados que impulsan un rendimiento mejorado durante los movimientos CEA contribuyen a mejorar la producción de potencia máxima después del entrenamiento PL (51,316). Por lo tanto, el alto grado de especificidad del entrenamiento PL para una gama de movimientos deportivos hace que los programas de entrenamiento de potencia incorporen ejercicios PL. Puesto que son ejercicios muy efectivos para mejorar la potencia máxima en movimientos específicos de deportes [(41,51,201,217,350).

A la hora de programar ejercicios PL en edades tempranas, en el pasado se pensaba que era perjudicial debido a que su implantación aumentaría el riesgo de lesión y produciría un retraso en el crecimiento (192). En la actualidad se ha demostrado que su implantación es beneficiosa en niños si se llevan a cabo unas pautas de entrenamiento adecuadas para su edad, para el aumento de la función neuromuscular, el incremento de la densidad mineral ósea y la reducción del riesgo de lesiones (26,93,341,352). Otros factores positivos para incorporar los ejercicios PL en jóvenes son su facilidad a la hora de llevarlos a la práctica, puesto que son ejercicios simples se pueden realizar sin necesidad de una supervisión constante por parte del entrenador o preparador y al no necesitar material, se pueden realizar fuera de una sala de pesas y el aspecto motivacional, son ejercicios que pueden causar mayor interés en los niños debido a su variedad de ejercicios y su reto motriz (56).

Por otro lado, el salto vertical (SV) mediante la aplicación de programas de entrenamiento basados en la PL ha sido ampliamente estudiado, en ellos se han encontrado aumentos

significativos del salto, por lo que se ha reconocido como un método de entrenamiento válido para la mejora del SV (41,105,129,135,147,200,217,241,340,349).

El SV es una acción deportiva fundamental que se da en una infinidad de ejecuciones deportivas en diferentes deportes (un remate de cabeza en fútbol, un bloqueo en voleibol o un rebote en baloncesto entre otras) y que su rendimiento constituye una parte fundamental del resultado en muchos deportes. Mediante el análisis del SV se pueden tener diferentes resultados como son: la altura de salto, el análisis biomecánico de la ejecución o también se puede utilizar como test predictor de la potencia muscular, es decir es un buen predictor del rendimiento (36,81,333).

La altura de salto va a ser dependiente de diversos factores como son la fuerza máxima, la velocidad a la que es aplicada dicha fuerza y la coordinación neural del salto (181). En cuanto a la musculatura que participa en la acción del SV encontramos como grupo principal con unos valores aproximados los extensores de cadera con un 49%, en segundo lugar, los extensores de rodilla con un 28% y los extensores de tobillo con un 23%. En cuanto a los músculos que más trabajan son los vastos junto al glúteo mayor, son los encargados de generar la máxima energía durante el SV (14,139).

Un aspecto fundamental en el SV es la correcta ejecución, debido a que el rendimiento en dicha prueba puede venir determinado por una buena o mala ejecución, para ello una correcta instrucción tiene que ser dada al atleta, hay que incentivar la disminución del tiempo de contacto en el suelo, aunque la intención sea saltar lo máximo posible, aportar un *feedback* al atleta después de cada salto después en relación “tiempo de contacto y altura de salto” puede ser una gran ayuda para la comprensión del deportista (356). En el caso de que la técnica que se esté realizando no sea la adecuada el objetivo del entrenamiento se podría ver influenciado, una técnica incorrecta va a influir negativamente a la producción mecánica de la musculatura, puesto que si en cada tipo de salto no se realiza de la forma adecuada, se pierde la efectividad del movimiento (32). Para ello los deportistas deberían ser enseñados a realizar el SV lo más rápido posible una vez contacten en el suelo.

1.2.2.3 Velocidad

El medio de locomoción que permite al ser humano alcanzar la máxima velocidad sin ayuda externa es conocido como el sprint. Desde el comienzo del tiempo ha sido una actividad fundamental para la supervivencia de la especie humana, tanto para cazar, como para escapar. En la actualidad ha cobrado mucha importancia en el deporte, es una acción que se ha vuelto decisiva en la competición de muchos deportes individuales y colectivos. Especialmente, la prueba por excelencia para la velocidad y el sprint es la prueba de 100m en atletismo, en concreto en las olimpiadas donde el ganador consigue ser el más rápido del mundo causando una repercusión mediática y social a nivel mundial. Por este motivo, el sprint dentro de las ciencias del deporte ha sido una de las acciones más estudiadas tanto a nivel fisiológico como biomecánico (210).

A pesar de las diferencias existentes en los sprints en base al deporte, se puede dividir en dos fases, claramente diferenciadas entre ellas, la fase de aceleración y la fase de velocidad máxima.

En primer lugar, la aceleración, es la acción de incrementar la velocidad, en la prueba de 100m al igual que en otras disciplinas se comienza desde una posición estática, en otras disciplinas se comienza desde una posición en movimiento, pero en ambos casos consiste en un incremento de la velocidad en el periodo de tiempo más breve posible. En segundo lugar, la velocidad máxima es a partir de que se alcanza la máxima velocidad posible para el sujeto, en este momento no hay más aceleración y a partir de este momento se intenta mantener la velocidad el mayor tiempo posible antes de comenzar a perder velocidad. En algunas modalidades deportivas estas fases no tienen por qué darse una después de la otra. En deportes colectivos sobre todo donde muchas veces la aceleración y la velocidad máxima no se dan en la misma jugada, o puede haber deportes en la que una sea más importante que la otra. Por este motivo, a la hora de plantear el programa de entrenamiento se tienen que desarrollar estas fases de forma específica cada una (6,357).

En la fase de aceleración durante el sprint los principales grupos musculares que actúan son los extensores de cadera, rodilla y tobillo (223). Debido a que durante un sprint buscamos aplicar la mayor cantidad de fuerza en el menor tiempo posible, la capacidad principal va a ser la fuerza explosiva, RFD (7). La fuerza de reacción del suelo (GRF) más horizontal durante la fase de aceleración va a verse influida por una posición del

tronco del deportista con una pequeña inclinación hacia delante, va a tener una gran importancia para poder acelerar el cuerpo hacia delante (258). En esta fase de aceleración se encuentran mayores tiempos de contacto (222,258) y el ratio de fuerzas (horizontal/vertical) es más horizontal si lo comparamos con la fase de velocidad máxima (258).

En la fase de velocidad máxima, los principales grupos musculares que actúan son los extensores de cadera y tobillo contribuyendo en este caso a una mayor aplicación de las fuerzas en dirección vertical (75). En la velocidad máxima además del RFD, otro factor importante es la fuerza máxima relativa, debido a que durante la primera mitad de la fase de apoyo aparece una conexión positiva entre la Velocidad máxima y la GRF vertical promedio por lo que la velocidad máxima se va a encontrar limitada mecánicamente por la GRF vertical máxima (54,346,347). Comparado con la fase de aceleración, en la fase de velocidad máxima el tiempo de contacto con el suelo es mucho más corto (237,238,258), debido a que la RFD es muy alta y una producción asimétrica de fuerzas durante la fase de velocidad máxima (78). En referencia a la postura, en este caso se caracteriza por que es más erguida probablemente a causa de la rigidez que se necesita para poder desacelerar el cuerpo y las extremidades de la forma más rápida posible después del momento de impacto del pie en el suelo (54), con la intención de generar la máxima potencia mecánica posible para poder alcanzar la máxima velocidad posible.

Para poder mejorar en ambas acciones tanto en aceleración como velocidad máxima, se debe crear un programa de entrenamiento que pretenda ser específico del patrón de movimiento, de la activación muscular y de la velocidad de contracción (287). En base a los elementos mencionados surgen diferentes clasificaciones basadas en el método de entrenamiento, estas clasificaciones se van a centrar en la especificidad del método y su similitud con la técnica propia del sprint (253). Un ejemplo, sería la clasificación de Plisk. *et al.*, (253), donde se clasifica a los métodos de entrenamiento con base a su similitud con el sprint. En ella se distinguen tres métodos: Los métodos primarios son ejercicios diseñados para simular el patrón de movimiento del sprint con el objetivo de mejorar la biomecánica del deportista a la hora de realizar el sprint (ejercicios de técnica de sprint, ejercicios de amplitud y frecuencia de zancada y sprints de diferentes distancias e intensidades); Los ejercicios secundarios los podemos dividir en dos: métodos resistidos y asistidos. Ambos son ejercicios que mantienen la mecánica del movimiento del sprint,

pero en los resistidos se añade una carga externa (chalecos lastrados, trineos etc.) o por otro lado en los asistidos se aporta una asistencia para facilitar el ejercicio; por último, los métodos terciarios son el resto de ejercicios que se utilizan para mejorar el sprint pero que no son específicos del sprint, como EF máxima, PL, flexibilidad etc. (103,299). En estos ejercicios, aunque no se está trabajando directamente el sprint, se consideran efectivos porque se mejora la fuerza, los niveles de potencia tanto en dirección vertical u horizontal en función del ejercicio (61). Esta mejora en los niveles de fuerza y potencia va a ser traducida en una mejora del rendimiento en acciones deportivas específicas como es el caso del sprint (61,194).

Para incrementar el rendimiento del sprint, en base a las últimas evidencias científicas es importante incorporar programas de entrenamiento que desarrollen como se ha mencionado anteriormente la fuerza máxima relativa, la RFD y la capacidad máxima de producción de potencia (121). Para ello es importante de la misma forma que para mejorar la fuerza, en el sprint también incorporar métodos de entrenamiento que trabajen en una amplia variedad de cargas para cubrir todos los tramos de la curva de fuerza-velocidad, con la intención de optimizar el entrenamiento y maximizar las ganancias en el rendimiento. Una forma de incrementar disminuir la carga es la utilización de los métodos resistidos y asistidos (121).

En concreto, los métodos resistidos han sido los utilizados en los estudios experimentales y por ello se les prestará mayor atención. Los métodos resistidos se han utilizado en diferentes modalidades debido a su gran efectividad para incrementar el rendimiento (3,4,53,159,251). A su misma vez dentro de ellos podemos encontrar diferentes formas de aumentar la carga mediante el empleo de diferentes equipos o condiciones de agregar la carga al sprint (arrastre de trineo, chaleco lastrado, paracaídas, carrera cuesta arriba, y dispositivos electromecánicos (ej. 1080 Sprint™)) (5,6,65). A la hora de seleccionar el equipo o condición para aplicar el método resistido deseado hay que tener en cuenta que en función del medio seleccionado se enfatizará en una aplicación de la fuerza más vertical u horizontal (360).

La aplicación de los métodos provoca adaptaciones como son: el aumento del RFD, incremento de la fuerza muscular (4,137,194,307). También se ha sugerido que puede provocar un aumento de la activación neural al incrementar la carga del ejercicio (52), un

incremento en el reclutamiento de UM de contracción rápida (330) y una mejora de la coordinación intermuscular (90,358). Fuera de las adaptaciones fisiológicas también se puede encontrar una transferencia positiva a la cinemática (tiempo de contacto, tiempo de vuelo, amplitud y frecuencia de zancada, etc.), traduciéndose en un aumento del rendimiento (4,68,236).

1.2.3 Combinación de métodos de entrenamiento

Como se ha explicado anteriormente, está demostrado que el entrenamiento PL, EF etc. son efectivos para mejorar las variables de rendimiento neuromuscular como son el SV, la velocidad o la fuerza. Como se ha demostrado que el deportista debería entrenar a lo largo de toda la curva de fuerza-velocidad, se deberían programar entrenamientos que incluyan Fuerza, potencia y velocidad con el objetivo de obtener el mejor resultado posible del entrenamiento planificado. Sumado a esto, la realidad del deportista es que dispone de un tiempo limitado en el cual tiene que intentar mejorar todas las variables de una forma óptima. Por lo que la utilización de un solo método no es efectiva en una sesión, además por la disposición de tiempo, recursos etc. En muchos deportes es imposible no entrenar más de un método en una misma sesión. Es, por tanto, con la intención de intentar aproximar la ciencia con la realidad del deporte y que las acciones más decisivas del deporte son acciones de potencia buscar situaciones de entrenamiento que se puedan utilizar luego en los entrenamientos de los deportistas.

La combinación de diferentes métodos dentro de una misma sesión parece la aproximación más acertada en la mayoría de los casos. El problema que existe en este momento es la falta de investigación al respecto para sustentar esta teoría, por lo que se necesita investigar si realmente el entrenamiento combinado va a permitir a los predadores físicos ser capaces de mejorar todas las variables del rendimiento con un mismo programa para todas. La búsqueda de estrategias eficientes en el tiempo que a su misma vez, mejoren el rendimiento en habilidades específicas mientras previenen lesiones es crucial (256). Por lo tanto, los entrenadores y los científicos del deporte han realizado importantes esfuerzos para identificar las mejores combinaciones entre los diferentes modos de ejercicios de fuerza-potencia y las estrategias de entrenamiento (15,98,146).

La combinación que hasta el momento ha sido la más estudiada es la combinación de EF + PL. En ellas se utilizan ejercicios concéntricos como son la sentadilla y diferentes combinaciones de ejercicios PL. Por ejemplo, para la mejora del SV ha sido ampliamente demostrado su eficacia (13,39,49,95,160,173,266,267). Mediante la utilización de la sentadilla se aumenta la fuerza de los músculos que actúan en el salto y una transferencia en la utilización de esta fuerza a movimientos biomecánicamente parecidos, donde involucran una extensión similar de cadera y rodilla como es el salto o el sprint. Mediante la sentadilla se podría producir una potenciación en los músculos encargados de la extensión de cadera y rodilla que al combinarlo con PL facilita la contracción muscular permitiendo mejorar la producción de potencia (2). Pero el problema se encuentra en las metodologías de los estudios, hay una variabilidad muy grande entre los ejercicios, las series, repeticiones etc. empleados durante el programa de entrenamiento, por lo que se necesitan futuras investigaciones para intentar poner en común todos estos resultados.

A pesar de que la mayoría de la literatura existente en la combinación de metodología de entrenamiento se encuentra en PL + EF, encontramos diferentes combinaciones como son la PL con velocidad o CDD donde también se encuentran resultados positivos. Hammami et al., (131) encontraron aumentos en el rendimiento de salto, velocidad y CDD tras combinar estos mismos ejercicios, estos resultados van en consonancia con resultados obtenidos por otros autores (208,226). Aloui *et al.*,(9) encontraron datos positivos que han descrito una mejora en el rendimiento del salto después de un entrenamiento de sprint corto y PL combinado sin carga con entrenamiento de CDD de acuerdo con varias investigaciones (24,134,226) y un entrenamiento de sprint corto y PL combinado con carga y descarga (133).

Si analizamos los resultados en diferentes poblaciones encontramos que en mujeres, se han obtenido mejoras en el rendimiento con combinaciones de entrenamiento PL + EF (100,119) PL + BL (Estabilidad) (39,303), PL+ EMS (electroestimulación) (216), en el fútbol masculino se han obtenido mejoras de rendimiento con diferentes combinaciones de PL+ sprint (119,256,281), PL + EF + sprint (246,274,277) y en fútbol juvenil se han obtenido mejoras en el rendimiento con diferentes combinaciones de entrenamiento PL+ sprint (131,256,281), PL + EF + sprint (245,273) .

La combinación de diferentes métodos de entrenamiento parece ser una forma eficaz de

mejorar el rendimiento neuromuscular durante acciones explosivas como saltos, CDD o sprints (239,280). Por ello realizar un metaanálisis para poder obtener resultados más contundentes acerca de las combinaciones y sus resultados en el rendimiento neuromuscular del deportista parece ser el siguiente paso a seguir y de esta forma poder proponer nuevos programas de entrenamiento combinado que consoliden los resultados obtenidos.

2 . PROBLEMAS, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Formulación del problema

Una vez analizada la bibliografía, se puede deducir que la situación problemática existe y que se dan las condiciones necesarias para justificar la formulación de uno o varios problemas relevantes de investigación. Las consideraciones pertinentes podrían ser las que se indican a continuación:

2.2 Problema 1

Desafortunadamente, la utilización de combinaciones de entrenamiento dentro de una misma sesión para la mejora del rendimiento físico de SV, velocidad, fuerza y CDD todavía no ha sido satisfactoriamente resuelto. Se encuentran estudios en los que los resultados obtenidos son positivos después de implantar sesiones de entrenamiento combinado de EF y PL (13,95,173), u otras combinaciones diferentes como son la combinación de PL con velocidad (256,281) o la combinación de más de dos métodos en la misma sesión como puede ser EF, velocidad y CDD (98,245). Sin embargo, existen efectos negativos o sin relevancia en combinaciones de EF más PL (10,254) y en combinaciones de tres métodos (146). Se podría argumentar que conocer si un mayor estímulo mediante enfocar una sesión de entrenamiento no solo a una cualidad específica sino combinar métodos de entrenamiento que puedan centrarse en más de una cualidad permita mejorar esa cualidad y a su misma vez mejorar otras utilizando el mismo número de sesiones podría hacer avanzar en el conocimiento de la estructuración de las sesiones para la mejora del rendimiento del atleta y la optimización del tiempo. Esto es crítico, ya que para atletas y entrenadores es vital conocer las estrategias de entrenamiento para una mejora óptima evitando así un posible sobre entrenamiento.

Teniendo en cuenta todo esto, nos hacemos la siguiente pregunta:

¿La combinación de diferentes metodologías de entrenamiento dentro de una misma sesión es un método óptimo para mejorar el rendimiento de fuerza, salto, velocidad y cambio de dirección?

2.3 Problema 2

Dentro de la literatura, aunque una gran mayoría de artículos aportan resultados positivos a favor de la combinación de metodologías de entrenamiento, existen otros que no son tan positivos. Hay que destacar que, hasta el momento no se ha realizado ningún metaanálisis que analice los efectos de dichas combinaciones sobre el rendimiento físico. Hasta la fecha encontramos que, se han publicado un metaanálisis estudiando el *Complex* y *Contrast training* en deportes de equipo, con resultados positivos donde ambas metodologías favorecen la mejora del rendimiento (62). Pero con este metaanálisis no tenemos información de las demás combinaciones posibles, hasta la fecha, solo una revisión sistemática ha sido realizada analizando el efecto de la combinación de métodos sobre el rendimiento (270), pero dicho artículo sólo incluye artículos de fútbol por lo que la muestra no es muy grande y además, no se ha realizado un metaanálisis que aporte evidencias más contundentes. Con lo cual no hay una evidencia suficiente para poder argumentar si combinar métodos de entrenamiento es efectivo o no para la mejora del SV, fuerza y velocidad.

Teniendo en cuenta todo esto, nos hacemos la siguiente pregunta:

¿La combinación de métodos de entrenamiento es positiva para la mejora del rendimiento para todas combinaciones? ¿Hay combinaciones que son más efectivas que otras?

2.4 Problema 3

Si nos centramos en una población en concreto en este caso en deportistas femeninas, la evidencia actual es muy pobre para considerar aislar a este grupo y realizar un metaanálisis que pueda aportar resultados más fiables acerca de la implementación del entrenamiento combinado comparado con grupos control. Se han analizado estos resultados en baloncesto (39,100,291), en fútbol (254) y en atletismo (216). En todos los estudios las mejoras en el rendimiento de salto, por ejemplo, fueron significativamente positivas a excepción del estudio de Porrati-Paladino. *et al.*, (254). Por lo que la corriente parece indicar que, la combinación de entrenamiento también es efectiva en mujeres. Pero los estudios siguen siendo muy escasos, por ello, es necesario realizar más estudios que analicen la combinación de metodologías de entrenamiento en mujeres deportistas.

Teniendo en cuenta todo esto, nos hacemos la siguiente pregunta:

¿La combinación de métodos de entrenamiento es un enfoque que mejora el rendimiento en todas las poblaciones? ¿O influye de manera diferente en poblaciones diversas, como por ejemplo en función del género?

2.5 Problema 4

Cuando la muestra analiza son jóvenes deportistas. La evidencia actual es más extensa y encontramos en ella resultados positivos en la mejora del rendimiento en jugadores jóvenes después de la aplicación de programas de entrenamiento combinado (49,95,102,131,208,256,273,274,283,362). En ellos, se aplican combinaciones de dos metodologías (49,95,208,256,281), combinaciones de tres metodologías (131,273,362) o combinaciones de cuatro metodologías (102,274). A pesar de que la corriente parece indicar que la combinación de entrenamiento también es efectiva en jóvenes. Los estudios siguen siendo muy diferentes entre ellos, por tanto, es necesario realizar más estudios que comparen las diferentes combinaciones de metodologías de entrenamiento en jóvenes deportistas.

Teniendo en cuenta todo esto, nos hacemos la siguiente pregunta:

¿En una población de jóvenes deportistas, la combinación de diferentes metodologías de entrenamiento será un método óptimo para mejorar el rendimiento? ¿La cantidad de métodos combinados influirá en la mejora del rendimiento?

2.6 Objetivos generales

En base a la problemática objeto de estudio los objetivos generales que se plantean en la tesis son los siguientes:

2.6.1 Metaanálisis

-El objetivo de la primera revisión sistemática con metaanálisis es examinar los efectos de la PL combinado con métodos de entrenamiento adicionales (EF, velocidad, CDD, EMS, BL, flexibilidad) en el rendimiento del SV.

-El objetivo de la segunda revisión sistemática con metaanálisis es examinar los efectos de la PL combinado con métodos de entrenamiento adicionales (EF, velocidad, CDD, EMS, BL, flexibilidad) en el rendimiento de la fuerza y la velocidad.

2.6.2 Estudios experimentales

- Evaluar los efectos de las combinaciones de metodologías de entrenamiento de fuerza, potencia y velocidad en el rendimiento del SV y CDD en jugadores jóvenes de fútbol masculino.

- Evaluar los efectos de las combinaciones de metodologías de entrenamiento de fuerza, potencia y velocidad en el rendimiento del SV, velocidad y CDD en jugadoras de fútbol femenino.

2.7 Objetivos específicos

Una vez analizada la problemática y revisada la literatura, nos centraremos concretamente en los siguientes objetivos:

2.7.1 Metaanálisis

- Realizar un análisis exhaustivo del efecto producido por la combinación de diversas metodologías de entrenamiento en el rendimiento de distintas pruebas de saltos vertical (CMJ, SJ, DJ y CMA), en comparación con un grupo control (GC).

- Evaluar el impacto de la combinación de metodologías de entrenamiento en la mejora de la fuerza del tren inferior, específicamente mediante la prueba de sentadilla, y en la velocidad, medida a través de distancias de 5m, 10m, 20m y 30m, en comparación con un GC.

- Comparar si los efectos del entrenamiento combinado varían entre un GC activo específico y un GC activo tradicional en cuanto al rendimiento en pruebas de salto vertical (CMJ, SJ, DJ y CMA).

- Contrastar si los efectos del entrenamiento combinado difieren entre un GC activo específico y un GC activo tradicional en términos de mejora en velocidad (5m, 10m, 20m, 30m) y fuerza (sentadilla).

- Investigar si los efectos del entrenamiento combinado varían según la combinación de dos métodos de entrenamiento o tres métodos o más en pruebas de salto vertical (CMJ).

- Analizar si los efectos del entrenamiento combinado difieren según la combinación de dos métodos de entrenamiento o tres métodos o más en términos de mejora de la velocidad (10m, 20m).

- Comparar si los efectos del entrenamiento combinado varían entre la combinación de PL y velocidad o la combinación de PL y EF en la mejora de la velocidad (30m).

- Evaluar si los efectos del entrenamiento combinado difieren entre la combinación de PL y EF o la combinación de tres métodos o más en la mejora de la fuerza, específicamente en la prueba de sentadilla.

2.7.2 Estudios experimentales

- Investigar los efectos de la combinación de PL con entrenamiento de velocidad y CDD en el rendimiento del salto vertical (CMJA) y la habilidad para cambiar de dirección (evaluada mediante el test L-Run) en jugadores jóvenes de fútbol masculino.
- Analizar los efectos de la combinación de PL con EF, velocidad y CDD en el rendimiento del salto vertical (CMJA) y la habilidad de cambiar de dirección (evaluada mediante el test L-Run) en jugadores jóvenes de fútbol masculino.
- Evaluar los efectos del entrenamiento PL solo en el rendimiento del salto vertical (CMJA) y la habilidad de cambiar de dirección (evaluada mediante el test L-Run) en jugadores jóvenes de fútbol masculino.
- Comparar los efectos de la combinación de PL con entrenamiento de velocidad y CDD frente a la combinación de PL con EF, velocidad y CDD en el rendimiento del salto vertical (CMJA) y la habilidad de cambiar de dirección (evaluada mediante el test L-Run) en jugadores jóvenes de fútbol masculino.
- Contrastar los efectos de la combinación de PL con entrenamiento de velocidad y CDD o la combinación de PL con EF, velocidad y CDD con un programa específico de PL en el rendimiento del salto vertical (CMJA) y la habilidad de cambiar de dirección (evaluada mediante el test L-Run) en jugadores jóvenes de fútbol masculino.
- Examinar los efectos de la combinación de PL con entrenamiento de velocidad y CDD en el rendimiento del salto vertical (CMJA), velocidad (medida a través de sprints de 10-20m) y la habilidad de cambiar de dirección (evaluada mediante el test L-Run) en jugadoras de fútbol femenino.
- Comparar los efectos de la combinación de PL con entrenamiento de velocidad y CDD en el rendimiento del salto vertical (CMJA), velocidad (medida a través de sprints de 10-20m) y la habilidad de cambiar de dirección (evaluada mediante el test L-Run) en jugadoras de fútbol femenino con un grupo control.

2.8 Hipótesis Metaanálisis

Hipótesis 1: Un programa de entrenamiento que combina PL con otros métodos de entrenamientos adicionales (EF, velocidad, CDD, EMS, BL, flexibilidad) producirá cambios positivos en la mejora del SV.

Hipótesis 2: Un programa de entrenamiento que combina tres métodos o más métodos de entrenamiento producirá mayores mejoras en el salto vertical (CMJ) la velocidad (5m, 10m, 20m, 30m) y la fuerza (sentadilla). comparado con programas de entrenamiento que utilizan dos métodos de entrenamiento.

Hipótesis 3: Un programa de entrenamiento que combina PL con otros métodos de entrenamiento adicionales (EF, velocidad, CDD, EMS, BL, flexibilidad) producirá cambios significativos en las variables de rendimiento de fuerza y velocidad.

2.9 Hipótesis estudios experimentales

Hipótesis 4: Un programa de entrenamiento de 6 semanas basado en la combinación de PL con velocidad y CDD producirá un efecto positivo en la mejora del rendimiento del SV y CDD en jugadores jóvenes de fútbol masculino.

Hipótesis 5: Un programa de entrenamiento de 6 semanas basado en la combinación de PL con EF, velocidad y CDD producirá un efecto positivo en la mejora del rendimiento del SV y CDD en jugadores jóvenes de fútbol masculino.

Hipótesis 6: Un programa de entrenamiento de 6 semanas basado en la combinación de PL con EF, velocidad y CDD o PL con velocidad y CDD producirá un efecto positivo mayor en la mejora del rendimiento de SV y CDD en jugadores jóvenes de fútbol masculino. comparado con un grupo que realiza solo entrenamiento PL.

Hipótesis 7: Un programa de entrenamiento de 6 semanas basado en la combinación de PL con velocidad y CDD producirá un efecto significativo en la mejora del rendimiento del SV, la velocidad y CDD en jugadoras jóvenes de fútbol femenino.

Hipótesis 8: Un programa de entrenamiento de 6 semanas dos días a la semana basado en la combinación de PL con velocidad y CDD comparado con un GC producirá un efecto positivo mayor en la mejora del rendimiento de VJ, velocidad y CDD en jugadoras jóvenes de fútbol femenino. (borrado)

**3 . ESTUDIO 1: EFECTOS DE LOS
MÉTODOS COMBINADOS DE
ENTRENAMIENTO DE FUERZA
EN EL RENDIMIENTO DE
SALTO: UNA REVISIÓN
SISTEMÁTICA Y UN
METAANÁLISIS DE ESTUDIOS
CONTROLADOS**

3.1 Resumen

Las acciones de corta duración y máximo esfuerzo, como el salto, son decisivas en diferentes deportes de equipo. Dado que el rendimiento del salto dependerá de la combinación de varios componentes, el uso de un método de entrenamiento combinado (EC) puede ser eficaz para proporcionar variación en el estímulo y aumentar la adaptación global del entrenamiento. Sin embargo, los estudios que analizan los efectos del EC suelen estar limitados por el pequeño tamaño de las muestras. Por lo tanto, este problema de los estudios con poca potencia puede resolverse agrupando los resultados de los estudios en un metaanálisis. El objetivo de esta revisión sistemática con metaanálisis fue examinar los efectos de la pliometría (PL) combinada con métodos de entrenamiento adicionales (por ejemplo, fuerza, velocidad, cambio de dirección (CDD), electroestimulación, equilibrio, flexibilidad) en el rendimiento del salto vertical (SV), en comparación con los grupos de control (GC). El metaanálisis incluyó artículos revisados por pares que incorporaban CT en participantes sanos y atletas, un GC y una medida de salto (CMJ, SJ, DJ y CMJA). La calidad metodológica de los estudios seleccionados se evaluó con la herramienta Cochrane de riesgo de sesgo. Mediante el modelo de efectos aleatorios, se calcularon los tamaños del efecto (ES; *g* de Hedge) para las medidas de salto utilizando las medias y las desviaciones estándar (DE) de las pruebas previas y posteriores para cada variable dependiente. Se incluyeron 36 estudios, con 1.169 participantes. El EC mejoró las pruebas de SV, CMJ (ES = 0,63; IC 95% = 0,49 a 0,77; $p < 0,001$), SJ (ES = 0,77; IC 95% = 0,45 a 1,10; $p < 0,001$), DJ (ES = 0,46; IC 95% = 0,14 a 0,77; $p = 0,005$) y la altura de CMJA (ES = 1,01; IC 95% = 0,31 a 1,70; $p = 0,005$). Cuando los resultados de CMJ fueron analizados según la participación de los atletas en una combinación de 2 métodos de entrenamiento en comparación con ≥ 3 métodos de entrenamiento, no se observó un efecto moderador significativo ($p = 0.797$ entre grupos). Los resultados indican que el entrenamiento combinado puede ser una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento en diversos tipos de saltos en comparación con las condiciones de control. Estos hallazgos respaldan la eficacia de los métodos combinados de entrenamiento de fuerza en la mejora del rendimiento de salto lo que puede tener importantes implicaciones para la planificación del entrenamiento en diversos contextos deportivos.

Palabras clave: Ejercicio Pliométrico; Fenómenos fisiológicos musculoesqueléticos y neurales; Acondicionamiento Físico Humano; Movimiento; Fuerza muscular.

Abstract

Actions of short-duration and maximal-effort, such as jumping, are decisive in different team sports. Since the performance of the jumping will depend on the combination of several components, using a combination of training (CT) method may be effective to provide variation in stimulus and to increase the overall training adaptation. However, studies analysing the effects of CT are generally limited by small sample sizes. This problem of underpowered studies may, thus, be resolved by pooling study results in a meta-analysis. The objective of this systematic review with meta-analysis was to examine the effects of plyometrics (PL) combined with additional training methods (e.g., strength, speed, change of direction (COD), electrostimulation, balance, flexibility) on vertical jump (VJ) performance, compared with controls groups (CG). The meta-analysis included peer-reviewed articles that incorporated CT in healthy participants and athletes, a CG, and a measure of jumping (CMJ, SJ, DJ and CMJA). The methodological quality of selected studies was assessed with the Cochrane risk of bias tool. Using the random-effects model, effect sizes (ES; Hedge's g) were calculated for jumping measures using means and SDs from pre- and post-tests for each dependent variable. Thirty-six studies were included, comprising 1,169 participants. CT improved VJ tests, CMJ (ES = 0.63; 95% CI = 0.49 to 0.77; $p < 0.001$), SJ (ES = 0.77; 95% CI = 0.45 to 1.10; $p < 0.001$), DJ (ES = 0.46; 95% CI = 0.14 to 0.77; $p = 0.005$) and CMJA height (ES = 1.01; 95% CI = 0.31 to 1.70; $p = 0.005$). When CMJ results were analyzed based on athletes' involvement in a combination of 2 training methods compared to ≥ 3 training methods, no significant moderator effect was observed ($p = 0.797$ between groups). The results indicate that combined training can be an effective strategy for enhancing performance in various types of jumps compared to control conditions. These findings support the effectiveness of combined strength training methods in improving jump performance, which may have significant implications for training planning in various sports contexts.

Keywords: Plyometric Exercise; Musculoskeletal and Neural Physiological Phenomena; Human Physical Conditioning; Movement; Muscle Strength.

3.2 Introducción

Las acciones de corta duración y máximo esfuerzo, como los saltos, son decisivas en diferentes deportes de equipo (por ejemplo, fútbol, baloncesto) (292,313). Por ejemplo, hasta el 9,9% de los goles marcados en el fútbol se producen tras una acción de salto (97). De hecho, se ha observado una correlación significativa ($B = -0,31$, $P = 0,012$) entre la altura de los saltos CMJ y SJ y la clasificación final en la liga de fútbol (es decir, el éxito del equipo) (16). Además, el SV está correlacionado con la velocidad de carrera en baloncesto, en velocistas y en un grupo de atletas de diferentes deportes (SJ y sprint de 10-20 m, $r = 0,53-0,57$; SJ, CMJ y sprint de 40 m, $r = 0,74$) (302); (SJ= $p < 0,01$; en 10-30m y CMJ= $p < 0,01$; en 10-30m) (342); una correlación de moderada a fuerte entre el sprint de 5m y el CMJ ($r = -0,664 -0,801$) (214). Dado que las acciones relacionadas con el sprint preceden a la mayoría de las oportunidades de gol en deportes como el fútbol.

La mejora del SV no depende de un solo factor, sino que depende de la combinación de varios factores que interactúan entre sí. Estos factores incluyen el uso del CEA, el ritmo de desarrollo de la fuerza, la capacidad de fuerza máxima y la coordinación muscular (13,96). Para mejorar el rendimiento de la SV, se ha estudiado el uso de diferentes tipos de entrenamiento. Entre estos métodos encontramos el PL, el EF, EMS, el entrenamiento de velocidad, entre otros (206,239,281,285).

El EF se entiende como el entrenamiento de movimientos con cargas externas de forma controlada y acciones excéntricas/concéntricas lentas (337). Aunque, en la última década, se ha empezado a buscar que los movimientos que se integran en el EF se realicen con la intención de mover la carga externa lo más rápido posible (102,218,274). Los beneficios que se obtienen del EF en los deportistas incluyen el aumento de la capacidad de generación de fuerza de reacción al suelo, del impulso (1) y del ritmo de desarrollo de la fuerza, por lo que los métodos de EF son muy utilizados por entrenadores e investigadores (1,152,153). Tras la aplicación de una intervención de EF, estas adaptaciones mencionadas se atribuyen a un aumento de la fuerza, un mayor reclutamiento de las unidades motoras y un aumento de la tasa de disparo de las neuronas motoras (125,178,298). El entrenamiento PL es un método de entrenamiento que se realiza a través de ejercicios de saltos, brincos y saltos bilaterales y unilaterales, que implican

tiempos breves de contacto pie-suelo (por ejemplo, movimientos cortos de CEA) alrededor de 100-250 ms (es decir, saltos altos o largos) y CEA largos caracterizados por una duración superior a 250ms (es decir, CMJ) (61). Se ha demostrado que el uso de la PL con jugadores de fútbol masculinos y femeninos mejora la potencia muscular, la fuerza máxima y las capacidades de sprint y aceleración (260,261,263). Dado que cada método obtiene unos beneficios y todos ellos son interesantes para mejorar el rendimiento del deportista, la combinación de varias metodologías dentro de la misma sesión de entrenamiento parece una idea interesante para la organización de la sesión de entrenamiento. Se ha demostrado que la combinación de PL con EF dentro de la misma sesión de entrenamiento puede producir mayores incrementos en el rendimiento en SV (13,292). La combinación de EF con el entrenamiento de PL se ha convertido en un método de entrenamiento cada vez más popular, ya que se ha demostrado en diferentes estudios que obtiene mejores resultados para la mejora de la potencia en comparación con el uso de PL o EF de forma aislada (2,96,362). Dado que el rendimiento de la SV no puede atribuirse a un único componente, sino que dependerá de la combinación de varios, el uso de un único método no será tan eficaz como la combinación de varios métodos de entrenamiento para proporcionar variación en el estímulo y aumentar la adaptación global del entrenamiento (13).

Existen inconsistencias reportadas en la literatura, con resultados positivos ($ES = 6,0; 2,7$) ($ES = 6.0; 2.7$) (173,281) y negativos ($ES = -1.08; -0.2$) (146,254), debido a la limitación del tamaño de la muestra del estudio de intervención (tamaño simple = 5; 6) (10,267) y la falta de metaanálisis. Además, hasta la fecha, las revisiones sistemáticas y los metaanálisis que se han realizado hasta la fecha han analizado la combinación de PL y EF dentro de una misma sesión, pero sólo se ha encontrado una revisión sistemática que analiza la combinación del entrenamiento PL con más de una metodología de entrenamiento (velocidad, movilidad, equilibrio, etc.) (270). Por este motivo, la idea de realizar una revisión sistemática con metaanálisis se debe a que un metaanálisis parece ser necesario para tener más evidencia sobre si es interesante combinar varias metodologías de entrenamiento dentro de la misma sesión. Un metaanálisis también puede proporcionar información valiosa para que los científicos y profesionales detecten las lagunas y limitaciones relacionadas con la PL combinada con otros métodos de entrenamiento, proporcionando sugerencias a futuras vías de investigación. Sin embargo, según el conocimiento de los autores, hasta ahora ninguna revisión ha intentado meta-

analizar el gran número de estudios disponibles en la literatura a pesar del gran potencial que se puede obtener de la combinación de PL con otras metodologías de entrenamiento en SV. Por lo tanto, el objetivo principal de esta revisión sistemática con metaanálisis fue examinar los efectos de la PL combinada con métodos adicionales de entrenamiento (por ejemplo, EF, velocidad, CDD, electroestimulación) sobre el rendimiento en el salto vertical.

3.3 Metodología

3.3.1 Planteamiento experimental del problema

Fuentes de datos y búsquedas. Se realizó una revisión sistemática con metaanálisis siguiendo las directrices de la Colaboración Cochrane (69). Los resultados se comunicaron de acuerdo con los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis (PRISMA) (189). La búsqueda electrónica se realizó en las siguientes bases de datos electrónicas PubMed, y Web of Knowledge. Se consideraron los artículos publicados hasta julio de 2021. En las bases de datos seleccionadas se introdujeron las siguientes palabras clave, combinadas en pares (por ejemplo, "Plyometric" AND "combined") "plyometric", "combined", "plyometrics", "stretch-shortening cycle", "strength", "sprint", "change of direction", "balance", "flexibility", "electrostimulation". Se examinaron las listas de referencias de los artículos pertinentes para encontrar otros posibles estudios que se ajustaran a los criterios de inclusión.

3.3.2 Sujetos

Criterios de inclusión y exclusión. Se consideraron para su inclusión los estudios publicados en inglés sin restricciones de edad o sexo. Los criterios de inclusión y exclusión se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Criterios de inclusión y exclusión de los estudios en la fase de selección de la revisión sistemática*

Categoría	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Población	Se consideraron para su inclusión los estudios sin restricción de población sin restricciones de edad o sexo.	Los participantes con problemas de salud (por ejemplo, lesiones, cirugía reciente), la intervención no se realizó en humanos.
Intervención	Estudios con grupos experimentales que realizan una combinación de métodos de entrenamiento (por ejemplo, fuerza combinada pliométrica).	Estudios que no realizan una comparación entre el entrenamiento pliométrico, el entrenamiento de fuerza o una combinación de estos métodos de entrenamiento; utilizaron la metodología de entrenamiento complejo; la duración de la intervención fue inferior a tres semanas; el programa de entrenamiento realizado no se mostró claramente; utilizaron suplementos; el efecto del entrenamiento fue agudo; combinaron pliometría con entrenamiento aeróbico.
Comparador	Grupo de control tradicional (es decir, atletas que participan en programas de entrenamiento regulares) o grupo de control específico (realizan un entrenamiento específico)	Ausencia de grupo control
Resultados	Al menos una medida relacionada con la aptitud física (por ejemplo, tareas de salto vertical) antes y después de la intervención de entrenamiento.	Falta de datos de referencia y/o de seguimiento; los resultados no se mostraban con claridad; el artículo no estaba en texto completo
Diseño estudio	Multi-arm trials.	Single-arm trials/ estudios observacionales

3.3.3 Procedimientos

3.3.3.1 Selección de estudios y extracción de datos

Las búsquedas en las bases de datos fueron realizadas de forma independiente por dos autores (C.L.M. y E.S.S.). Tras eliminar los duplicados, se revisaron los resúmenes y se excluyeron los estudios no relacionados con el tema de la revisión. Se leyeron los artículos restantes que no se descartaron inicialmente. A continuación, de forma independiente y a ciegas, 2 revisores seleccionaron los estudios para su inclusión (C.L.M. y E.S.S.), según los criterios de inclusión y exclusión. Si no se lograba un acuerdo, intervenía un tercero

(R.R.C.). La presente revisión se centró en la aptitud física de los atletas como resultado principal. Dado que las características de potencia son cruciales durante varios movimientos atléticos, se consideraron medidas de aptitud física, el salto vertical (es decir, altura del salto). En los casos en los que los datos requeridos no se comunicaron de forma clara o completa, se contactó con los autores del estudio para obtener aclaraciones. Si no se obtenía respuesta de los autores (después de un intento), o si los autores no podían proporcionar los datos solicitados, el resultado del estudio se excluía del análisis posterior. Si los datos sólo se mostraban en forma de figuras, pero no de tablas, el resultado del estudio se excluyó del análisis posterior.

Los datos se extrajeron de los estudios incluidos mediante un formulario creado en Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Los datos extraídos incluyeron la siguiente información: el nombre del primer autor, el año de publicación y el número de participantes por grupo. También se extrajeron los datos relativos al sexo de los participantes, la edad (años), la masa corporal (kg), la altura (m) y la experiencia previa en EF/PL. Si procedía, también se extrajo el tipo y el nivel (por ejemplo, profesional, amateur) de la práctica deportiva. En cuanto a los parámetros de programación, se informó de la frecuencia semanal de entrenamiento (días/semana), la duración (semanas).

3.3.3.2 Evaluación del riesgo de sesgo (calidad del estudio).

La calidad metodológica de los estudios seleccionados que contenían un GC se evaluó con la herramienta Cochrane de riesgo de sesgo (148). El sesgo y la calidad de los estudios fueron evaluados por (C.L.M., y E.S.S.) y cualquier desacuerdo de los desacuerdos por un tercer revisor (R.R.C.). No se eliminó ningún estudio por su calidad metodológica, independientemente de la puntuación obtenida. La evaluación de cada uno de los 7 ítems incluye la respuesta a una pregunta. En respuesta a esta pregunta, se asignó el término "Sí" cuando hay un bajo riesgo de sesgo, el término "No" cuando hay un alto riesgo de sesgo y "Poco claro" cuando no hay suficiente información. Esta escala de evaluación ya ha sido utilizada por otras revisiones en este campo utilizando los mismos criterios de evaluación (62).

.

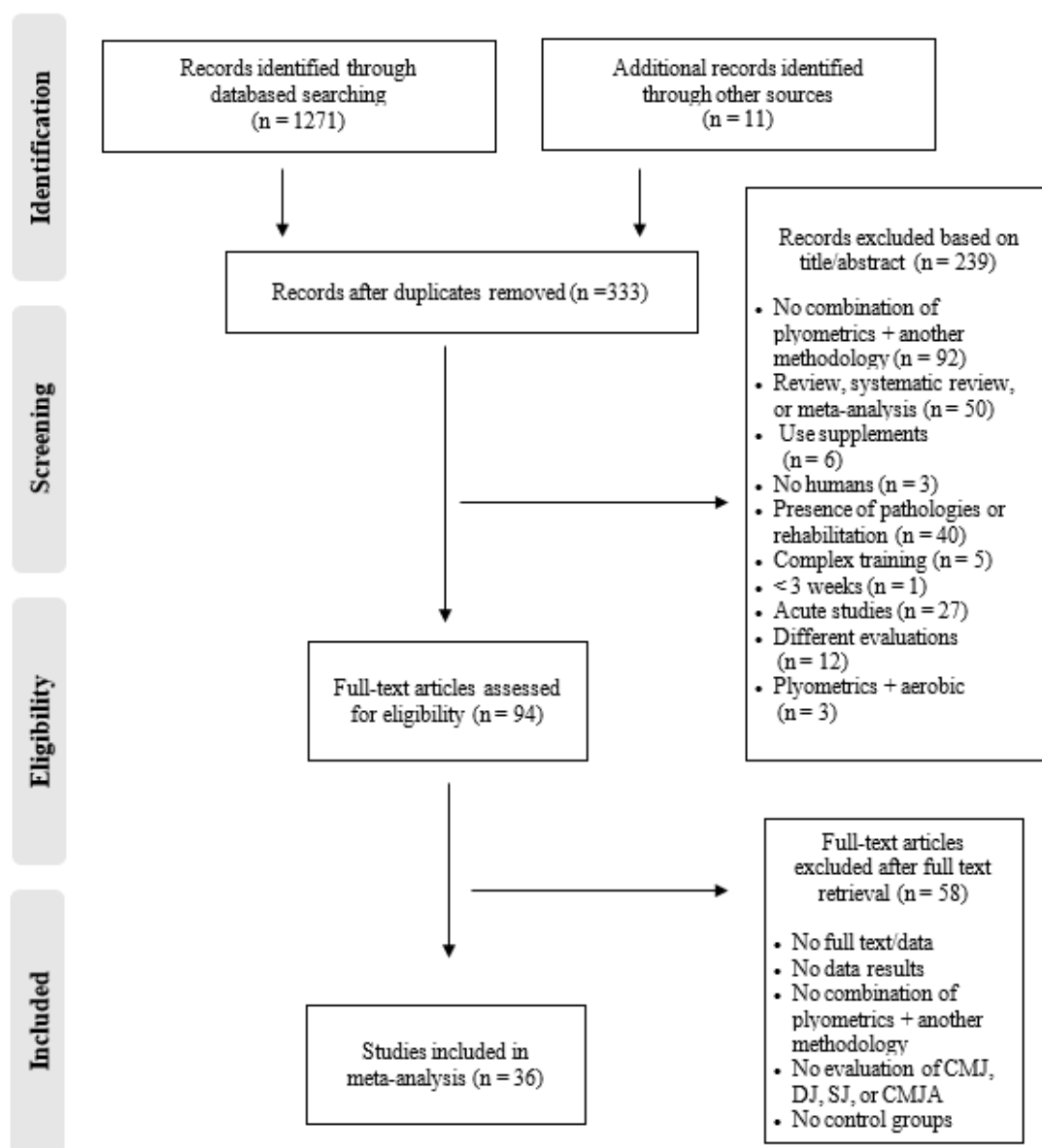
3.3.4 Análisis estadístico

Los estudios se agregaron mediante un metaanálisis si se disponía de tres o más estudios relativamente homogéneos para la misma medida de resultado. Los tamaños del efecto (ES; *g* de Hedge) se calcularon para las medidas de salto utilizando las medias y las DE de las pruebas previas y posteriores para cada variable dependiente. Para los estudios que informaron del error estándar, las DE se calcularon multiplicando el error estándar por la raíz cuadrada del tamaño de la muestra (188). Los datos se estandarizaron utilizando los valores de la DE posterior a la intervención. Se utilizó el modelo de efectos aleatorios para tener en cuenta las diferencias entre los estudios que pudieran afectar a los efectos de la intervención (73,179). Los valores de los ES se presentaron con intervalos de confianza del 95% (IC del 95%). Las magnitudes de los ES se interpretaron utilizando la siguiente escala: <0,2, trivial; 0,2-0,6, pequeño; >0,6-1,2, moderado; >1,2-2,0, grande; >2,0_4,0, muy grande; >4,0, extremadamente grande (155). En los estudios que incluían más de un grupo de intervención, el tamaño de la muestra del grupo activo y del grupo de control específico-activo se dividió proporcionalmente para facilitar las comparaciones entre los múltiples grupos (73). El impacto de la heterogeneidad de los estudios se evaluó mediante la estadística *I*², con valores de <25%, 25-75% y >75% que representan niveles bajos, moderados y altos, respectivamente (149). Se exploró el riesgo de sesgo de notificación (con al menos 10 estudios) (312) mediante la prueba de Egger (86), con $p < 0,05$ que implica sesgo. Para ajustar el riesgo de sesgo de notificación, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando el método de recorte y relleno (85), con *L*₀ como estimador por defecto para el número de estudios que faltaban (304). Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa informático Comprehensive Metaanálisis (versión 2.0; Biostat, Englewood, NJ, EE.UU.). El nivel de significación estadística se fijó en $p < 0,05$.

3.4 Resultados

3.4.1 Resultados de Búsqueda

La búsqueda inicial arrojó 1.271 artículos de bases de datos y 11 de otras fuentes. Tras eliminar los duplicados, quedaron 333 y se examinaron por títulos y resúmenes. Los artículos restantes se examinaron en función de los criterios de inclusión y exclusión. Tras el proceso de selección de estudios, se incluyeron 36 (Figura 8).

Fig. 8: Diagrama de flujo de las diferentes etapas del proceso de revisión sistemática.

3.4.2 Características generales de los estudios

Las características básicas de los participantes y los parámetros de programación de las intervenciones combinadas de los estudios incluidos se muestran en la (Tabla 2).

Tabla 2: Caracterización de los grupos de participantes y de las intervenciones de formación

Table 2. Characterization of participants groups and training interventions.														
	N° subjects	Age (year)	Weight (kg)	Height (cm)	Gender	Years' exp	Strength exp	Fit	Group level	Sport	Treatment	Duration	N° sessions	Test
Aloui 2021	17	16	64.5	173	M	6	YES	Elite	Na	Soc	PL+SP + COD	8	16	SJ+AVA
Alvarez 2012	5	24.2	68.09	171.9	M	7.9	NR	NR	Reg	Golf	PL+RT	6	12	SJ CMJ
Arabatzis 2010	10	20.3	85.2	185	M	NR	YES	Good	NR	NR	PL+RT	8	24	SJ CMJ
Arabatzis 2010	10	20.3	85.2	185	M	NR	YES	Good	NR	NR	PL+RT	8	24	SJ CMJ
Arede 2019	9	14	56.2	165	M	5	YES	Good	Reg	Bank	PL + RT +SP+COD+ BAL	8	32	SJ+CMJ
Boutrera 2018	16	16	56.6	168	W	NR	NR	NR	REG	Bank	PL +BA	8	16	SJ+CMJ+DJ
Chaouachi 2014	14	13	45.9	158	M	0	NO	Ra	No ath	No sport	PL+BA	8	24	CMJ
Fathi 2019	20	14.7	68.7	177	M	NR	NR	Elite	Na	Vol	PL+RT	16	32	SJ CMJ
Fatouros 2000	10	20	79.9	178	M	NR	NO	NR	NR	NR	PL+RT	12	36	AVA
Fauze 2013	8	23.1	78.9	183	M	10	NR	Ra	Reg	Soc	PL+RT + SP	7	14	CMJ + DJ
Floria 2019	17	23.1	60.4	168	W	5	NR	NR	NR	Bank	PL+RT	6	12	CMJ
Franco-Márquez 2015	20	14.7	60.3	171	M	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT +SP+COD	6	12	CMJ
Hammami 2018	14	14	69.3	178	M	4	YES	Elite	Na	Hand	PL+SP + COD	6	12	SJ+CMJ+AVA
Herrero 2010	11	21	80.2	179	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT + EL	4	16	SJ+CMJ+AVA
Herrero 2010	8	21	79	172	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT	4	16	SJ+CMJ+AVA
Hunter 2002 A	14	24	82.9	NR	M	NR	YES	NR	NR	Mix	PL+RT + FL	10	20	CMJ+DJ+DJ+DJ
Hunter 2002 B	11	24	82.9	NR	M	NR	YES	NR	NR	Mix	PL + RT	10	20	CMJ+DJ+DJ+DJ
Kijewski 2015	9	21.2	79.5	182	M	NR	YES	NR	NR	No sport	PL+RT	4	8	SJ CMJ
Lytlae 1996	11	24	72.5	178	M	NR	NO	NR	RE	Mix	PL+RT	8	16	SJ CMJ
Makhlouf 2018	20	11	36.6	147	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+COD	8	16	CMJ
Makhlouf 2018	21	11	36.9	145	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+BA	8	16	CMJ
Martinez-López 2012	27	18	61.6	168	B	5	NR	NR	NR	Track	PL+EL	8	16	SJ+CMJ+DJ
Martinez-López 2012	23	18	59.1	166	B	5	NR	NR	NR	Track	PL+EL	8	16	SJ+CMJ+DJ
Martinez-López 2012	24	18	56.2	163	B	5	NR	NR	NR	Track	PL+EL	8	16	SJ+CMJ+DJ
Otero-Esquina 2017	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT + SP	7	7	CMJ
Otero-Esquina 2017	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT + SP	7	14	CMJ
Pérez-Gómez 2008	16	23.4	71.2	174.9	NR	NR	NR	NR	NR	NR	PL+RT	6	18	SJ+CMJ
Pienaar 2013	19	18.94	89.96	183.38	M	11	NR	Ra	Na	Rug	PL+RT	4	12	AVA
Porrati-Paladino 2021	9	21	61.8	163	W	7	NR	Re	Reg	Soc	PL+RT	6	18	CMJ
Prieto 2021	15	14.2	56.9	169	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	CMJ
Prieto 2021	15	17.2	65.3	171	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	CMJ
Qi 2019	31	10.6	37.5	142.9	NR	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT + SP	4	8	AVA
Racil 2020	9	15.7	59.5	170	M	4	NR	G	Reg	Track	PL+FL	12	36	SJ+ CMJ
Ramos Veliz 2014	16	20.43	81.43	180.33	M	8	NR	Good	Na	Wat	PL+RT	18	36	CMJ
Redondo 2014	6	24.8	70.46	173.3	M	9.7	NR	NR	Na	Fen	PL+RT	6	12	SJ CMJ
Rodriguez-Rosell 2016	15	12.7	47.6	158	NR	3	NO	Good	NR	Soc	PL+RT + SP	6	12	CMJ
Rodriguez-Rosell 2017	10	24.5	74.5	176	NR	8	NO	Re	Reg	Soc	PL+RT +SP+COD	6	12	CMJ
Rodriguez-Rosell 2017	15	12.6	46.3	158	NR	2	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT +SP+COD	6	12	CMJ
Rodriguez-Rosell 2017	14	14.6	59.6	170	NR	4	NO	Elite	Reg	Soc	PL+RT +SP+COD	6	12	CMJ
Rodriguez-Rosell 2017	14	16.4	69.1	172	NR	6	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT + SP+COD	6	12	CMJ
Rønnestad 2008	8	24	73.5	180	M	NR	YES	Elite	Na	Soc	PL+RT	7	14	SJ CMJ
Sáez de Villarreal 2015	13	15	57	168	NR	6	NR	Good	Na	Soc	PL+SP	9	18	CMJ+AVA
Sánchez-Sixto 2021	13	23	60.14	168	W	5	NR	NR	NR	Bank	PL+RT	6	12	CMJ
Tricoli 2005	8	22	73.4	179.4	M	NR	YES	Ra	Amat	NR	PL+RT	8	24	SJ CMJ
Usman 2019	30	19.6	66	176	M	NR	NR	NR	NR	Vol	PL+FL	8	16	AVA
Zghal 2019	14	14.5	60.2	172	NR	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT + SP	7	14	SJ+CMJ+DJ

NR: No report; Exp: Experience; M: Male, F:Female, B: Both; Fit: Fitness; Re: Regular; Int: International; Na: Nacional; Reg: Regional; Amat: Amateur; No athletes: No ath; Soccer: Soc; Basketball: Bank; volleyball: Vol; Water polo: Wat; Rugby: Rug; Fencing: Fen; Track and Field: Tra; Mixed sports: Mix; Handball: hand; PL: Pliometrics; RT: Resistance training; Speed: SP; Change of direction: COD; Electrostimulation: EL; Balance: BA; Flexibility: FL; Avalakor: AVA

3.4.3 Calidad Metodológica

La calidad metodológica de los estudios elegibles se muestra en la tabla 3. Todos los estudios deben considerarse de alto riesgo de sesgo. Asimismo, la evaluación general debe ser de alto riesgo de sesgo. Se puede observar que la mayoría de los estudios (36/40, 90%) tenían un bajo riesgo de sesgo derivado de la aleatorización, y todos los estudios tenían un bajo riesgo de sesgo de deserción, sesgo de información y otros sesgos. En todos los estudios se encontró un alto riesgo de sesgo de ejecución y de detección, y en la mayoría de los estudios se detectó un alto riesgo de sesgo de selección, sólo hubo una excepción.

Tabla 3: Calidad metodológica

	Generación de secuencias aleatorias (Sesgo de selección)	Ocultación de la asignación (Sesgo de selección)	Cegamiento de los participantes y del personal (sesgo de rendimiento)	Cegam. de la evaluación de resultados (Sesgo de detección)	Datos de resultados incompletos (Sesgo de deserción)	Información selectiva (Sesgo de información)	Otros sesgos
Aloui 2021	+	-	-	-	+	+	+
Álvarez 2012	+	-	-	-	+	+	+
Arabatzi 2010	+	-	-	-	+	+	+
Arede 2019	-	-	-	-	+	+	+
Bouterraa 2018	+	-	-	-	+	+	+
Chaouachi 2014	+	-	-	-	+	+	+
Fathi 2019	+	-	-	-	+	+	+
Fatouros 2000	-	-	-	-	+	+	+
Faude 2013	+	-	-	-	+	+	+
Floría 2019	+	-	-	-	+	+	+
Franco 2015	-	-	-	-	+	+	+
Hammami 2018	+	-	-	-	+	+	+
Herrero 2010	+	-	-	-	+	+	+
Hunter 2002	+	-	-	-	+	+	+
Kijowksi 2015	+	-	-	-	+	+	+
Lyttlee 1996	+	-	-	-	+	+	+
Makhlouf 2018	+	-	-	-	+	+	+
Martinez 2012	+	-	-	-	+	+	+
Otero 2017	-	-	-	-	+	+	+
Pérez 2008	+	-	-	-	+	+	+
Pienaar 2013	+	-	-	-	+	+	+
Porrati 2021	+	+	-	-	+	+	+
Prieto 2021	+	-	-	-	+	+	+
Qi 2019	+	-	-	-	+	+	+
Racil 2020	+	-	-	-	+	+	+
Ramos 2014	+	-	-	-	+	+	+
Redondo 2014	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2016	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Ronnestad 2008	+	-	-	-	+	+	+
Sáez de Villarreal 2015	+	-	-	-	+	+	+
Sanchez-sixto2021	+	-	-	-	+	+	+
Tricoli 2005	+	-	-	-	+	+	+
Usman 2019	+	-	-	-	+	+	+

Zghal 2019	+	-	-	-	+	+	+
Tabla de riesgo de sesgo: revisión de los juicios de los autores sobre cada elemento de riesgo de sesgo en todos los estudios incluidos (estudios con grupo de control)							

3.4.4 Metaanálisis

3.4.4.1 CMJ

Treinta y un estudios proporcionaron datos sobre el rendimiento de los CMJ, con 41 grupos experimentales y 34 de control (N.º agrupados = 970). Los resultados mostraron un efecto moderado de los participantes entrenados sobre el rendimiento del CMJ (ES = 0,63; IC del 95% = 0,49 a 0,77; $p < 0,001$; I² = 39,8%; prueba de Egger $p = 0,110$; en comparación con los controles (Figura 9). Cuando se analizaron los resultados según la participación de los deportistas en los GC específico-activo o tradicional-activo, no se observó un efecto moderador significativo para el tipo de control ($p=0,869$ entre los grupos; específico-activo: 6 puntos de datos, ES = 0,73, I² = 48,6%; tradicional-activo: 35 puntos de datos, ES = 0,69; I² = 40,1%). Cuando los resultados de CMJ fueron analizados según la participación de los atletas en una combinación de 2 métodos de entrenamiento (28 puntos de datos; ES = 0.71; $p < 0.001$; I² = 52.8%) en comparación con ≥ 3 métodos de entrenamiento (13 puntos de datos; ES = 0.67; $p < 0.001$; I² = 0.0%), no se observó un efecto moderador significativo ($p = 0.797$ entre grupos).

Fig. 9: CMJ

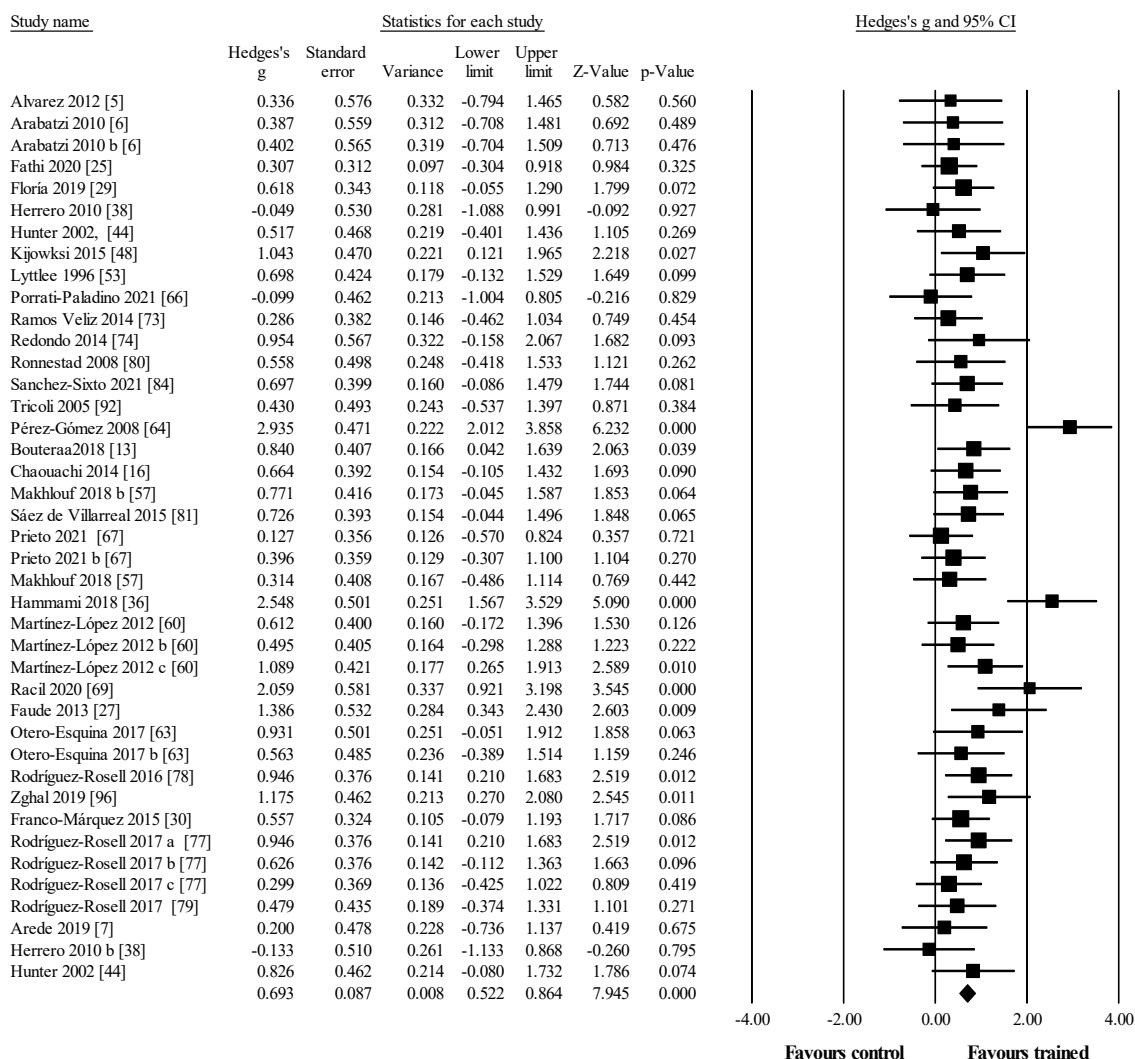


Diagrama de bosque de los cambios en el CMJ, en los atletas que participan en el entrenamiento combinado en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide negro refleja el resultado global.

3.4.4.2 SJ

Dieciséis estudios proporcionaron datos para el SJ, con 20 grupos experimentales y 16 de control (n = 430). Los resultados mostraron un efecto moderado de los participantes entrenados sobre el SJ (ES = 0,77; IC del 95% = 0,45 a 1,10; p < 0,001; I2 = 60,0%; prueba de Egger p = 0,797; Figura 10 en comparación con los controles. Cuando se

analizaron los resultados según la participación de los deportistas en los GC específico-activo o tradicional-activo, no se observó un efecto moderador significativo para el tipo de control ($p=0,601$ entre los grupos; específico-activo: 5 puntos de datos, $ES = 0,91$, $I2 = 50,8\%$; tradicional-activo: 15 puntos de datos, $ES = 0,72$; $I2 = 64,2\%$).

Fig. 10: Squat jump

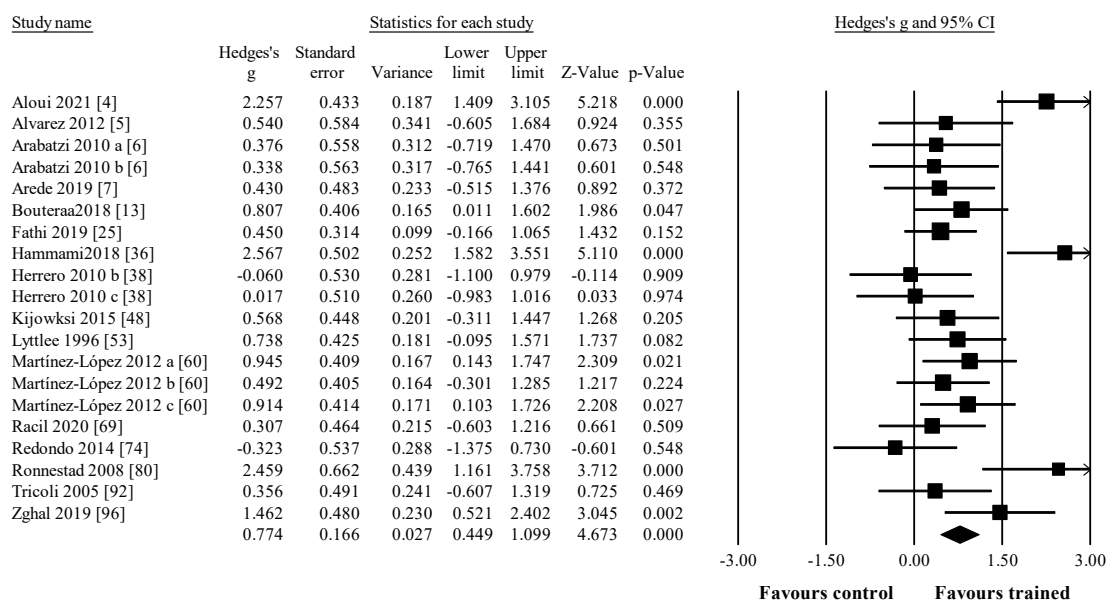


Diagrama de bosque de los cambios en el SJ, en los atletas que participan en el entrenamiento combinado en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide negro refleja el resultado global.

3.4.4.3 CMJA

Ocho estudios proporcionaron datos sobre el rendimiento del CMJA, con 9 grupos experimentales y 8 de control (n combinado = 282). Los resultados mostraron un efecto moderado de los participantes entrenados sobre el rendimiento del CMJA ($ES = 1,01$; IC del 95% = 0,31 a 1,70; $p = 0,005$; $I2 = 85,8\%$; en comparación con los controles (Figura 11). Los resultados no se analizaron en función de la participación de los atletas en GC específicos-activos o tradicionales-activos, ya que todos los GC incluían participantes tradicionales-activos.

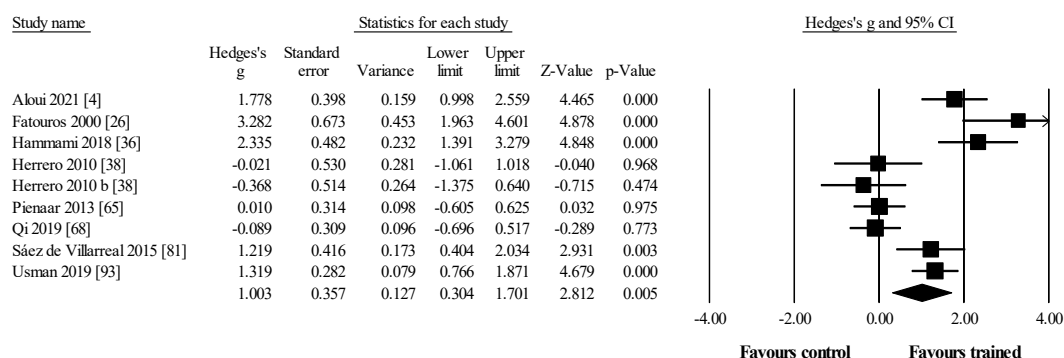
Fig. 11: CMJA

Diagrama de bosque de los cambios en el salto de contramovimiento con los brazos (es decir, Abalakov), en los atletas que participan en el entrenamiento combinado en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide negro refleja el resultado global.

3.4.4.4 DJ

Cinco estudios proporcionaron datos sobre el rendimiento del DJ, con 12 grupos experimentales y 7 de control ($n = 237$). Los resultados mostraron un pequeño efecto de los participantes entrenados en el rendimiento del DJ (ES = 0,46; IC del 95% = 0,14 a 0,77; $p = 0,005$; I² = 26,3%; en comparación con los controles (Figura 12). Cuando se analizaron los resultados según la participación de los atletas en los GC específico-activo o tradicional-activo, se observó un efecto moderador significativo para el tipo de control ($p = 0,021$ entre los grupos; específico-activo: 3 puntos de datos, ES = -0,01, I² = 0,0%; tradicional-activo: 9 puntos de datos, ES = 0,61; I² = 0,0%).

Fig. 12 Drop Jump

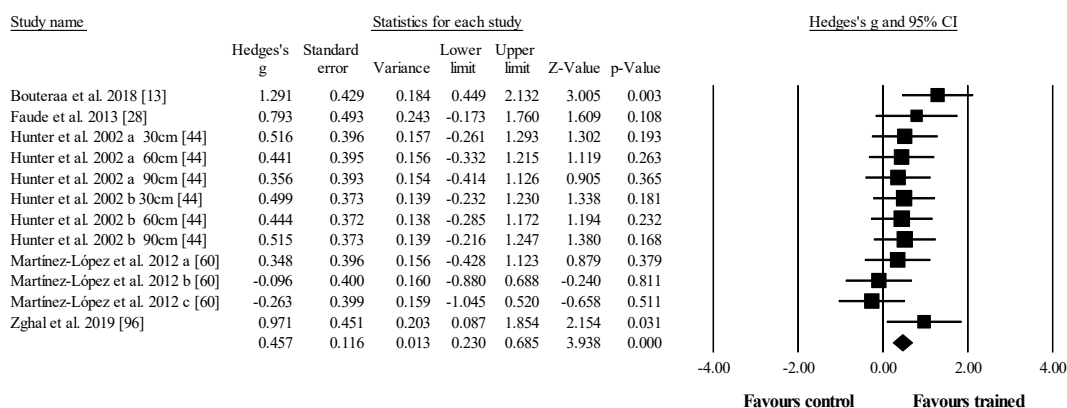


Diagrama de bosque de los cambios en el DJ, en los atletas que participan en el entrenamiento combinado en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide negro refleja el resultado global.

3.5 Discusión

El propósito de este metaanálisis fue determinar los efectos del EC en comparación con las condiciones de control en el rendimiento de salto. Encontramos que el EC puede emplearse para mejorar el rendimiento en CMJ, ES=0,63; SJ= 0,77; CMJA =1,01; DJ=0,46 rendimiento en comparación con las condiciones de control (activo y pasivo). Además, cuando se analizaron los resultados en CMJ según la participación de los atletas en el entrenamiento PL combinado con uno, en comparación con dos o más métodos de entrenamiento, no se encontraron efectos moderadores significativos.

Los resultados de este metaanálisis confirman las revisiones narrativas anteriores (22,62,321) sobre los efectos del entrenamiento PL combinado con el EF para la mejora de la capacidad de SV. Estas mejoras en la VJ debidas a la PL combinada son muy relevantes porque se ha demostrado que un aumento del 10% en la SV se transfiere luego a un aumento en el salto específico del deporte (32,211,285). Hay que tener en cuenta el nivel de los atletas, ya que en muchos de los estudios incluidos en el metaanálisis los atletas tenían un nivel bajo (49,97,252,254,257). Se podría suponer que el estímulo de

entrenamiento de fuerza, relativamente novedoso y con mayor carga, podría haber producido una fuerte respuesta adaptativa, aunque es necesario comprobar explícitamente esta hipótesis.

Las mejoras obtenidas en el rendimiento del salto vertical tras la aplicación de un programa de EC pueden deberse a adaptaciones tanto mecánicas como fisiológicas similares a las obtenidas con un programa de PL o EF, pero estas mejoras pueden potenciarse si se combinan en el mismo entrenamiento (45,271,289). Dentro de estas adaptaciones, podemos encontrarlas a nivel hormonal (un aumento de la testosterona) (8,25) y adaptaciones celulares favorables a la generación de fuerza. Además, a nivel de adaptaciones estructurales, se ha informado de que tras 19 semanas de EF solo, el número de fibras de tipo IIx se redujo (311), las fibras de tipo IIx son las que se contraen a mayor velocidad y, por tanto, son capaces de generar mayores niveles de potencia y, por lo tanto, son importantes durante las acciones de máxima intensidad y corta duración (por ejemplo, el SV) (38,106,136,203). En contra se vio que después de un programa que incluye EC estos se conservan en comparación con un programa de EF (311). Otros estudios que han incluido PL o EC obtuvieron resultados similares (117,202,203). También se observó un mayor reclutamiento de las fibras musculares de contracción rápida durante el EC, posiblemente debido a la combinación de cargas altas a baja velocidad con cargas bajas a alta velocidad (110). Además, la EC puede ayudar a producir una mejor coordinación y sincronización de los grupos musculares que están desarrollando la acción para mejorar y potenciar las habilidades motoras, esto se puede ver por una mejor transferencia de energía en la fase concéntrica y excéntrica del movimiento muscular (66,271). Por lo tanto, las mejoras de estas adaptaciones mejorarán la velocidad, el salto y la agilidad (47,107). Desde otro punto de vista, el EC puede llevar a optimizar la curva fuerza-velocidad del atleta debido a que se combinan cargas bajas (es decir, PL) con cargas altas (es decir, EF) (61). De este modo, al prescribir este entrenamiento, el entrenador se asegura de que el deportista ha trabajado los dos grandes componentes del continuo. Debido a la importancia de los parámetros del espectro fuerza-velocidad (165), puede pensarse que estas mejoras de rendimiento obtenidas tras la EC pueden creerse comprensiblemente debidas a una optimización del espectro fuerza-velocidad (166,167). En contraste con nuestros hallazgos, un programa de entrenamiento anterior no observó mejoras en los saltos tras el EC (22). En este caso, los resultados de nuestro metaanálisis pueden ofrecer un hallazgo positivo entre una población más amplia de atletas.

Se reconocen algunas limitaciones. En primer lugar, se observó una gran heterogeneidad en los estudios incluidos en este análisis, ya que tenían poblaciones y características de entrenamiento diferentes. En segundo lugar, los resultados de nuestra revisión sistemática sugieren la ausencia de estudios de EC con mujeres, sólo cinco estudios. Por lo tanto, los hallazgos actuales no deben extrapolarse simplemente a las atletas femeninas. Las futuras investigaciones sobre EC deberían incluir a las mujeres para superar esta deficiencia en la literatura. Otra de las principales deficiencias observadas en esta revisión sistemática es que se incluyó una mayor cantidad de estudios de fuerza combinada con pliometría en comparación con la PL combinada con otras metodologías (por ejemplo, velocidad, CDD, tres o más metodologías combinadas). Además, el uso de mediciones directas e indirectas y de diversos instrumentos y procedimientos de prueba utilizados para medir la SV, no puede descartarse como un posible factor que podría haber afectado al resultado de los resultados (321).

Nuestros resultados corroboran nuestra hipótesis de que el entrenamiento PL combinado mejora el SV en comparación con los GC (activo y pasivo). Aunque la heterogeneidad observada entre los estudios fue alta. Sin embargo, todas las pruebas de SV mejoran significativamente después de las intervenciones combinadas. Sin embargo, actualmente no está claro el papel que desempeñan las posibles variables moderadoras, como la frecuencia, la duración o el número total de sesiones, ni las relaciones dosis-respuesta específicas tras el entrenamiento combinado, especialmente a largo plazo.

3.6 Aplicaciones prácticas

Desde una perspectiva aplicada, los métodos combinados pueden utilizarse para lograr adaptaciones positivas en las variables de rendimiento neuromuscular en los atletas. El entrenamiento PL combinado es eficaz para mejorar la altura de la SV en participantes y atletas sanos. Esto puede ser de interés para los entrenadores y los atletas que buscan una forma más eficiente en términos de tiempo para incorporar ejercicios de menor y mayor carga en su programa de entrenamiento (22,62).

4 . ESTUDIO 2: Efectos de los
Métodos de Entrenamiento de
Fuerza Combinados en Atletas y
Participantes Saludables en el
Rendimiento de Sprints y Fuerza:
Una Revisión Sistemática con
Metaanálisis de Estudios
Controlados

4.1 Resumen

Las acciones de corta duración y máximo esfuerzo, como el sprint, el cambio de dirección (CDD) son decisivas en diferentes deportes de equipo. Dado que el rendimiento del sprint dependerá de la combinación de varios componentes, el uso de un método de entrenamiento combinado (EC) puede ser eficaz para proporcionar variación en el estímulo y aumentar la adaptación global del entrenamiento. Sin embargo, los estudios que analizan los efectos del entrenamiento combinado suelen estar limitados por el pequeño tamaño de las muestras. Por lo tanto, este problema de los estudios con poca potencia puede resolverse agrupando los resultados de los estudios en un metaanálisis. El objetivo de esta revisión sistemática con metaanálisis fue examinar los efectos de la pliometría (PL) combinada con métodos de entrenamiento adicionales (por ejemplo, fuerza, velocidad, CDD, electroestimulación (EMS), equilibrio, flexibilidad) sobre el rendimiento en el sprint y la fuerza, en comparación con los grupos de control (GC). El metaanálisis incluyó artículos revisados por pares que incorporaron EC en participantes sanos y atletas, un GC, y una medida del sprint en diferentes distancias (5m, 10m, 20m y 30m) y de fuerza (sentadilla 1RM). Utilizando el modelo de efectos aleatorios, se calcularon los tamaños del efecto (ES; g de Hedge) para las medidas de sprint y fuerza utilizando las medias y las DE las pruebas previas y posteriores para cada variable dependiente. Se incluyeron 31 estudios, con 1.271 participantes. El EC mejoró las pruebas de sprint, 10m (ES = 0,67; IC 95% = 0,37 a 0,97; $p < 0,001$), 20m (ES = 0,45; IC 95% = 0,21 a 0,70; $p < 0,001$), 30m (ES = 0,46; IC 95% = 0,20 a 0,71; $p < 0,001$) y la prueba de fuerza, en sentadilla 1RM (ES = 1,53; IC 95% = 0,98 a 2,07; $p < 0,001$). Los resultados basados en una combinación específica encontraron un tipo de efecto estadístico significativo ($p = 0,010$; ES = 1,03) después de la PL combinada con el entrenamiento de velocidad en comparación con la PL combinada con la fuerza en el sprint de 30 metros y se observó un efecto moderador significativo ($p = 0,013$; ES = 2,02) después de la PL combinada con la fuerza en comparación con la PL combinada con dos o más métodos de entrenamiento en la sentadilla 1RM. La combinación de métodos de entrenamiento de fuerza es una forma eficaz de mejorar el rendimiento en el sprint y la fuerza en participantes sanos y atletas en comparación con las condiciones de control.

Palabras clave: Ejercicio pliométrico; Fenómenos fisiológicos musculoesqueléticos y neuronales; Acondicionamiento físico humano; Movimiento; Fuerza muscular.

Abstract

Actions of short-duration and maximal-effort, such as sprint, change of direction (COD) are decisive in different team sports. Since the performance of sprint will depend on the combination of several components, using a combination of training (CT) method may be effective to provide variation in stimulus and to increase the overall training adaptation. However, studies analysing the effects of combined training are generally limited by small sample sizes. This problem of underpowered studies may, thus, be resolved by pooling study results in a meta-analysis. The objective of this systematic review with meta-analysis was to examine the effects of plyometrics (PL) combined with additional training methods (e.g., strength, speed, COD, electrostimulation (EMS), balance, flexibility) on sprint and Strength performance, compared to controls groups (CG). The meta-analysis included peer-reviewed articles that incorporated CT in healthy participants and athletes, a CG, and a measure of sprint (5m, 10m, 20m and 30m) and strength (1RM squat). Using the random-effects model, effect sizes (ES; Hedge's g) were calculated for sprint and strength measures using means and SDs from pre- and post-tests for each dependent variable. Thirty-one studies were included, comprising 1,271 participants. CT improved sprint tests, 10m (ES = 0.67; 95% CI = 0.37 to 0.97; $p < 0.001$), 20m (ES = 0.45; 95% CI = 0.21 to 0.70; $p < 0.001$), 30m (ES = 0.46; 95% CI = 0.20 to 0.71; $p < 0.001$) and strength test, 1RM squat (ES = 1.53; 95% CI = 0.98 to 2.07; $p < 0.001$). Results based in a specific combination found a significant statistically effect type ($p = 0.010$; ES = 1.03) after PL combined with speed training compared to PL combined with strength in 30m sprint and a significant moderator effect was noted ($p = 0.013$; ES = 2.02) after PL combined with strength compared to PL combined with two or more training methods in 1RM squat. Combined strength training methods is an effective way to improve sprint and strength performance on healthy participants and athletes in comparison to control conditions.

Keywords: Plyometric Exercise; Musculoskeletal and Neural Physiological Phenomena; Human Physical Conditioning; Movement; Muscle Strength.

4.2 Introducción

Las acciones de corta duración y máximo esfuerzo, como el sprint, caracterizadas por ser acciones de fuerza-potencia, son decisivas en diferentes deportes de equipo (por ejemplo, fútbol, baloncesto). Faude *et al.*, (97) analizaron 360 goles de la primera liga nacional alemana mediante análisis de vídeo. De todos los goles analizados, el 45% de los jugadores que marcaron un gol realizaron un sprint recto antes de marcar y la mayoría de ellos se marcaron sin balón y sin oponente. Asimismo, la acción más frecuente del jugador asistente en las acciones de gol fue el sprint, en el que la mayoría se realizó con el balón. Las comparaciones del tiempo de sprint entre los estudios sugieren que los jugadores profesionales de las principales ligas de fútbol europeas sprintan relativamente más rápido que los jugadores profesionales de las ligas de naciones de fútbol de menor nivel (141–143).

En los sprints de 20 metros las diferencias de ($\sim 0,04-0,06$ s) equivalentes a 30-50cm pueden ser decisivas en muchos deportes en acciones como los duelos 1vs 1 en los que una posición adelantada del adversario, con un hombro adelantado o el cuerpo por delante del adversario permite tener una ligera ventaja (144,155). Es importante conseguir este aumento de velocidad respecto al adversario tanto en posiciones ofensivas como defensivas ya que puede crear una ventaja o un espacio si el jugador es atacante, así como eliminar una ventaja o cerrar un espacio al adversario en una posición defensiva (141,335). Por lo tanto, las posibilidades de éxito aumentarán con una mayor capacidad de aceleración y velocidad máxima.

La mejora del rendimiento del sprint y de la fuerza-potencia no depende de un solo factor, sino que depende de la combinación de varios factores que interactúan entre sí. Estos factores incluyen el ritmo de desarrollo de la fuerza, la capacidad de fuerza máxima, la coordinación muscular y el uso del CEA (13,96). Para mejorar el rendimiento de sprint y fuerza, se ha estudiado el uso de diferentes tipos de entrenamiento. Entre estos métodos encontramos el PL, el EF, la EMS, el entrenamiento de velocidad, entre otros (207,279–281,286,353).

Se ha observado que existe una alta correlación entre el sprint, el SV y el CDD con los niveles de fuerza, potencia y tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) (318). Específicamente

en los jugadores de fútbol, en una revisión de la literatura se ha encontrado que necesitan altos niveles de fuerza muscular en el tren inferior para poder realizar acciones de alta intensidad de manera más eficiente y con mejores resultados (255,316). Se ha demostrado que la fuerza y la velocidad son cualidades físicas clave para los deportes de equipo en los que la potencia es una prioridad, como el fútbol (109,268). Debido a este fenómeno, la fuerza y la velocidad se consideran predictores del éxito (170,235). Por último, es necesario añadir que, entre los diferentes métodos que se comentarán a continuación, los más utilizados para mejorar tanto la velocidad como la fuerza son el entrenamiento de PL, EF y el entrenamiento resistido en el caso del sprint (265).

El EF se entiende como el entrenamiento de movimientos con cargas externas de forma controlada y acciones excéntricas/concéntricas lentas (337). Aunque, en la última década, se ha empezado a buscar que los movimientos que se integran en el EF se realicen con la intención de mover la carga externa lo más rápido posible (102,218,274). Los beneficios que se obtienen del EF en los atletas incluyen el aumento de la capacidad de generación de fuerza de reacción del suelo, el impulso (1) y la RFD, por lo que los métodos de EF son muy utilizados por los entrenadores e investigadores (1,152,153). Tras la aplicación de una intervención de EF, estas adaptaciones mencionadas se atribuyen a un aumento de la fuerza, un mayor reclutamiento de las unidades motoras y un aumento de la tasa de disparo de las neuronas motoras (125,178,298). El PL es un método de entrenamiento que se realiza a través de ejercicios de saltos, brincos y saltos bilaterales y unilaterales, que implican tiempos breves de contacto pie-suelo (por ejemplo, movimientos cortos de CEA) alrededor de 100-250 ms (es decir, saltos altos o largos) y CEA largos caracterizados por una duración superior a 250ms (es decir, CMJ) (61). Se ha demostrado que el uso del PL con jugadores de fútbol masculinos y femeninos mejora la potencia muscular, la fuerza máxima y las capacidades de sprint y aceleración (260,261,263). Dado que cada método obtiene unos beneficios y todos ellos son interesantes para mejorar el rendimiento del deportista, la combinación de varios métodos dentro de la misma sesión de entrenamiento parece ser una idea interesante para la organización de la sesión de entrenamiento. Se ha demostrado que la combinación de PL con EF dentro de la misma sesión de entrenamiento puede producir mayores incrementos de rendimiento en velocidad (95,119) y fuerza (119,276). Combinar el entrenamiento de EF con el de PL se ha convertido en un método de entrenamiento cada vez más popular, ya que se ha demostrado en diferentes estudios que se obtienen mejores resultados para la mejora de la potencia en comparación con el

uso de PL o EF de forma aislada (2,96,362). Dado que el rendimiento del sprint no puede atribuirse a un solo componente, sino que dependerá de la combinación de varios, el uso de un solo método no será tan eficaz como la combinación de varios métodos de entrenamiento para proporcionar variación en el estímulo y aumentar la adaptación global del entrenamiento (140,141).

Debido a las inconsistencias reportadas en la literatura, existen resultados positivos (ES = 4,19; 2,16; 2,22; 2,23) (15,119,131,327) y negativos (ES = -0,97; -0,345) (250,327), por la limitación del tamaño de la muestra del estudio de intervención (tamaño simple = 5; 6) (10,267) y la falta de metaanálisis. Además, porque hasta ahora, las revisiones sistemáticas y los metaanálisis que se han realizado hasta la fecha han analizado la combinación de PL y fuerza dentro de la misma sesión, pero sólo se ha encontrado una revisión sistemática que analiza la combinación del entrenamiento de PL con más de una metodología de entrenamiento (velocidad, movilidad, BL, etc.) (270).

Por ello, la idea de realizar una revisión sistemática con metaanálisis es porque un metaanálisis parece ser necesario para tener más evidencia sobre si es interesante combinar varias metodologías de entrenamiento dentro de la misma sesión. Un metaanálisis también puede proporcionar información valiosa para que los científicos y profesionales detecten las lagunas y limitaciones relacionadas con la PL combinada con otros métodos de entrenamiento, proporcionando sugerencias a futuras vías de investigación. Sin embargo, según el conocimiento de los autores, hasta ahora ninguna revisión ha intentado meta-analizar el gran número de estudios disponibles en la literatura, a pesar del gran potencial que puede obtenerse de la combinación de PL con otras metodologías de entrenamiento en el rendimiento de sprint y fuerza. Por lo tanto, el objetivo principal de esta revisión sistemática con metaanálisis fue examinar los efectos de la PL combinada con métodos adicionales de entrenamiento (por ejemplo, fuerza, velocidad, CDD, EMS) en el rendimiento de sprint y fuerza, en comparación con los GC activos/pasivos.

4.3 Metodología

4.3.1 Planteamiento experimental del problema

Fuentes de datos y búsquedas. Se realizó una revisión sistemática con metaanálisis siguiendo las directrices de la Colaboración Cochrane (69). Los resultados se comunicaron de acuerdo con los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis (PRISMA) (189). La búsqueda electrónica se realizó en las siguientes bases de datos electrónicas PubMed, y Web of Knowledge. Se consideraron los artículos publicados hasta julio de 2021. En las bases de datos seleccionadas se introdujeron las siguientes palabras clave, combinadas en pares (por ejemplo, "Plyometric" AND "combined") "plyometric", "combined", "plyometrics", "stretch-shortening cycle", "strength", "sprint", "change of direction", "balance", "flexibility", "electrostimulation". Se examinaron las listas de referencias de los artículos pertinentes para encontrar otros posibles estudios que se ajustaran a los criterios de inclusión.

4.3.2 Sujetos

Criterios de inclusión y exclusión. Se consideraron para su inclusión los estudios publicados en inglés sin restricciones de edad o sexo. Los criterios de inclusión y exclusión se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4: Criterios de inclusión y exclusión de los estudios en la fase de selección de la revisión sistemática.

Categoría	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Población	Se consideraron para su inclusión los estudios sin restricción de población sin restricciones de edad o sexo.	Los participantes con problemas de salud (por ejemplo, lesiones, cirugía reciente), la intervención no se realizó en humanos.
Intervención	Estudios con grupos experimentales que realizan una combinación de métodos de entrenamiento (por ejemplo, fuerza combinada pliométrica).	Estudios que no realizan una comparación entre el entrenamiento pliométrico, el entrenamiento de fuerza o una combinación de estos métodos de entrenamiento; utilizaron la metodología de entrenamiento complejo; la duración de la intervención fue inferior a tres semanas; el programa de entrenamiento realizado no se mostró claramente; utilizaron

		suplementos; el efecto del entrenamiento fue agudo; combinaron pliometría con entrenamiento aeróbico.
Comparador	Grupo de control tradicional (es decir, atletas que participan en programas de entrenamiento regulares) o grupo de control específico (realizan un entrenamiento específico)	Ausencia de grupo control
Resultados	Al menos una medida relacionada con la aptitud física (por ejemplo, tareas de salto vertical) antes y después de la intervención de entrenamiento.	Falta de datos de referencia y/o de seguimiento; los resultados no se mostraban con claridad; el artículo no estaba en texto completo
Diseño estudio	Multi-arm trials.	Single-arm trials/ estudios observacionales

4.3.3 Procedimientos

4.3.3.1 Selección de estudios y extracción de datos

La búsqueda en las bases de datos fue realizada de forma independiente por dos autores (C.L.M. y E.S.S.). Tras eliminar los duplicados, se revisaron los resúmenes y se excluyeron los estudios no relacionados con el tema de la revisión. Se leyeron los artículos restantes que no se habían descartado inicialmente. A continuación, de forma independiente y a ciegas, dos revisores seleccionaron los estudios para su inclusión (C.L.M. y E.S.S.), según los criterios de inclusión y exclusión. Si no se lograba un acuerdo, intervenía un tercero (R.R.C.).

La presente revisión se centró en la condición física de los atletas como resultado principal. Dado que las características de fuerza y potencia son cruciales durante varios movimientos atléticos, se consideraron medidas de aptitud física, pero no se limitaron a: (A) fuerza máxima (1 repetición máxima), (B) sprint lineal (es decir, tiempo; velocidad). En los casos en los que los datos requeridos no se comunicaron de forma clara o completa, se contactó con los autores del estudio para obtener aclaraciones. Si no se obtenía respuesta de los autores (después de un intento), o si los autores no podían proporcionar los datos solicitados, el resultado del estudio se excluía del análisis posterior. Si los datos sólo se mostraban en forma de figuras, pero no de tablas, el resultado del estudio se

excluyó del análisis posterior.

Los datos se extrajeron de los estudios incluidos mediante un formulario creado en Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Los datos extraídos incluyeron la siguiente información: el nombre del primer autor, el año de publicación y el número de participantes por grupo. También se extrajeron los datos relativos al sexo de los participantes, la edad (años), la masa corporal (kg), la altura (m) y la experiencia previa en EF/PL. Si procedía, también se extrajo el tipo y el nivel (por ejemplo, profesional, amateur) de la práctica deportiva. En cuanto a los parámetros de programación, se informó de la frecuencia semanal de entrenamiento (días/semana), la duración (semanas).

4.3.3.2 Evaluación del riesgo de sesgo (calidad del estudio).

La calidad metodológica de los estudios seleccionados que contenían un grupo control se evaluó con la herramienta Cochrane de riesgo de sesgo (148). El sesgo y la calidad de los estudios fueron evaluados por (C.L.M., y E.S.S.) y cualquier desacuerdo fue resuelto por un tercer revisor (R.R.C.). No se eliminó ningún estudio por motivos de calidad metodológica, independientemente de la puntuación obtenida. La evaluación de cada uno de los 7 ítems incluye la respuesta a una pregunta. En respuesta a esta pregunta, se asignó el término "Sí" cuando existe un bajo riesgo de sesgo, el término "No" cuando existe un alto riesgo de sesgo y "Poco claro" cuando no hay suficiente información. Esta escala de evaluación ya ha sido utilizada por otras revisiones en este campo utilizando los mismos criterios de evaluación (62).

4.3.4 Análisis estadístico

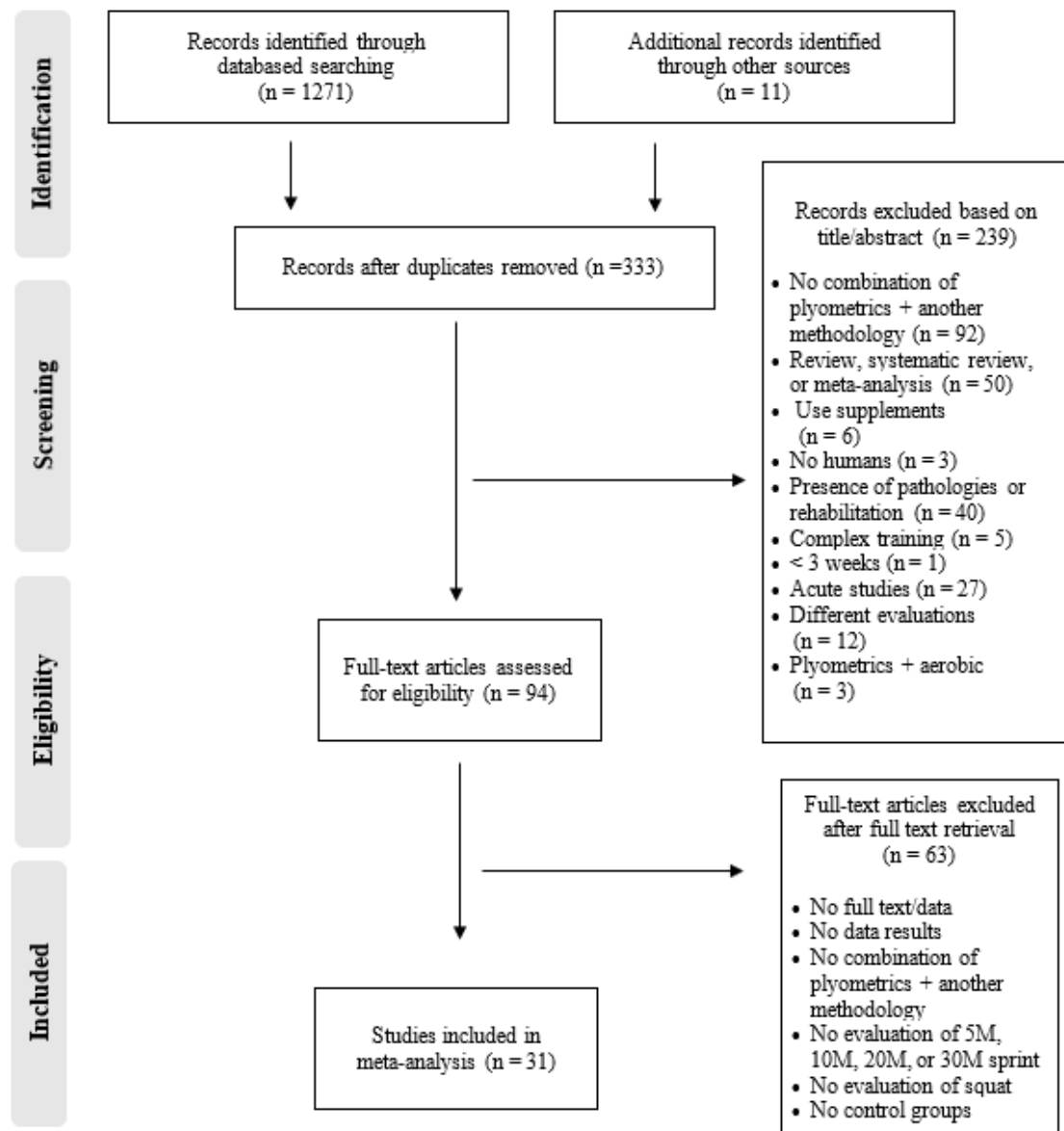
Los estudios se agregaron mediante un metaanálisis si se disponía de tres o más estudios relativamente homogéneos para la misma medida de resultado. Los tamaños del efecto (ES; g de Hedge) se calcularon para las medidas de salto utilizando las medias y las DE las pruebas previas y posteriores para cada variable dependiente. Para los estudios que informaron del error estándar, las DE se calcularon multiplicando el error estándar por la

raíz cuadrada del tamaño de la muestra (188). Los datos se estandarizaron utilizando los valores de la DE posterior a la intervención. Se utilizó el modelo de efectos aleatorios para tener en cuenta las diferencias entre los estudios que pudieran afectar a los efectos de la intervención (73,179). Los valores de los ES se presentaron con intervalos de confianza del 95% (IC del 95%). Las magnitudes de los ES se interpretaron utilizando la siguiente escala: <0,2, trivial; 0,2-0,6, pequeño; >0,6-1,2, moderado; >1,2-2,0, grande; >2,0_4,0, muy grande; >4,0, extremadamente grande (155). En los estudios que incluían más de un grupo de intervención, el tamaño de la muestra del grupo activo y del GC específico-activo se dividió proporcionalmente para facilitar las comparaciones entre los múltiples grupos (73). El impacto de la heterogeneidad de los estudios se evaluó mediante la estadística I², con valores de <25%, 25-75% y >75% que representan niveles bajos, moderados y altos, respectivamente (149). Se exploró el riesgo de sesgo de notificación (con al menos 10 estudios) (312) mediante la prueba de Egger (86), con $p < 0,05$ que implica sesgo. Para ajustar el riesgo de sesgo de notificación, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando el método de recorte y relleno (85), con L0 como estimador por defecto para el número de estudios que faltaban (304). Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa informático Comprehensive metaanálisis (versión 2.0; Biostat, Englewood, NJ, USA). El nivel de significación estadística se fijó en $p < 0,05$.

4.4 Resultados

4.4.1 Resultados de Búsqueda

La búsqueda inicial arrojó 1.271 artículos de bases de datos y 11 de otras fuentes. Tras eliminar los duplicados, quedaron 333 y se examinaron por títulos y resúmenes. Los artículos restantes se examinaron en función de los criterios de inclusión y exclusión. Tras el proceso de selección de estudios, se incluyeron 31 (Figura 13).

Fig. 13: Diagrama de flujo de las diferentes etapas del proceso de revisión sistemática.

4.4.2 Características generales de los estudios

Las características básicas de los participantes y los parámetros de programación de las intervenciones combinadas de los estudios incluidos se muestran en la (Tabla 5).

Tabla 5: Caracterización de los grupos de participantes y de las intervenciones de formación

	N° subjects	Age (year)	Weight (kg)	Height (cm)	Gender	Years' exp	Strength exp	Fit	Group level	Sport	Treatment	Duration	N° sessions	Test
Alvarez 2012	5	24.2	68.09	171.9	M	7.9	NR	NR	Reg	Golf	PL+RT	6	12	SQ
Azeda 2019	9	14	56.2	165	M	5	YES	Good	Reg	Bask	PL+RT+SP+COD +BAL	8	32	10M
Boutrera 2018	16	16	56.6	168	W	NR	NR	NR	REG	Bask	PL+BA	8	16	5M, 10M, 20M
Chaoachi 2014	14	13	45.9	158	M	0	NO	Re	No ath	No sport	PL+BA	8	24	5M, 30M
Falces prieto 2021a	15	14.2	56.9	169	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	10M, 20M
Falces prieto 2021b	15	17.2	65.3	171	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	10M, 20M
Fathi 2019	20	14.7	68.7	177	M	NR	NR	Elite	Na	Vol	PL+RT	16	32	5M, 10M
Fatouros 2000	10	20	79.9	178	M	NR	NO	NR	NR	NR	PL+RT	12	36	SQ
Faude 2013	8	23.1	78.9	183	M	10	NR	Re	Reg	Soc	PL+RT+SP	7	14	10M, 30M, SQ
Franco-Márquez 2015	20	14.7	60.3	171	M	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Guadalupe 2009a	20	23.13	69.5	174.7	M	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT	9	27	30M, SQ
Guadalupe 2009b	8	22.3	61.7	168.5	W	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT	9	27	30M, SQ
Hammani 2018	14	14	69.3	178	M	4	YES	Elite	Na	Hand	PL+SP+COD	6	12	5M, 10M, 20M, 30M
Herrero 2010	11	21	80.2	179	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT+EL	4	16	20M
Herrero 2010	8	21	79	172	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT	4	16	20M
Karadzija 2020a	9	18	64.2	173	NR	NR	NR	Elite	Na	Soc	PL+SP+COD	6	12	30M
Karadzija 2020b	8	18	63.1	177	NR	NR	NR	Elite	Na	Soc	PL+SP+COD	6	12	30M
Kijowksi 2015	9	21.2	79.5	182	M	NR	YES	NR	NR	No sport	PL+RT	4	8	SQ
Lytlee 1996	11	24	72.5	178	M	NR	NO	NR	RE	Mix	PL+RT	8	16	20M, SQ
Makhlouf 2018a	20	11	36.6	147	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+COD	8	16	10M, 20M, SQ
Makhlouf 2018b	21	11	36.9	145	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+BA	8	16	10M, 30M
Newton 1999	8	19	84	189	M	5	YES	Elite	Na	Vel	PL+RT	8	16	SQ
Otero-Esquina 2017a	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT+SP	7	7	10M, 20M
Otero-Esquina 2017b	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT+SP	7	14	10M, 20M
Peña 2019a	43	12.8	45.4	154.9	M	NR	YES	Good	Na	Soc	PL+RT	8	16	30M, SQ
Peña 2019b	36	13.8	55.8	165.9	M	NR	YES	Good	Na	Soc	PL+RT	8	16	30M, SQ
Peña 2019c	31	14.6	62.3	171.9	M	NR	YES	Good	Na	Soc	PL+RT	8	16	30M, SQ
Pérez-Gómez 2008	16	23.4	71.2	174.9	NR	NR	NR	NR	NR	NR	PL+RT	6	18	5M, 10M, 20M, 30M, SQ
Pienaar 2013	19	18.94	89.96	183.38	M	11	NR	Re	Na	Rug	PL+RT	4	12	5M, 10M, 20M
Qi 2019	31	10.6	37.5	142.9	NR	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT+SP	4	8	30M
Ramos Veliz 2014	16	20.43	81.43	180.35	M	8	NR	Good	Na	Wat	PL+RT	18	36	SQ
Redondo 2014	6	24.8	70.46	173.3	M	9.7	NR	NR	Na	Fen	PL+RT	6	12	SQ
Rodriguez-Rosell 2016	15	12.7	47.6	158	NR	3	NO	Good	NR	Soc	PL+RT+SP	6	12	10M, 20M
Rodriguez-Rosell 2017a	10	24.5	74.5	176	NR	8	NO	Re	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Rodriguez-Rosell 2017b	15	12.6	46.3	158	NR	2	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Rodriguez-Rosell 2017c	14	14.6	59.6	170	NR	4	NO	Elite	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Rodriguez-Rosell 2017d	14	16.4	69.1	172	NR	6	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Romestad 2008	8	24	73.5	180	M	NR	YES	Elite	Na	Soc	PL+RT	7	14	10M, SQ
Sáez de Villarreal 2015	13	15	57	168	NR	6	NR	Good	Na	Soc	PL+SP	9	18	5M, 10M
Tricoli 2005	8	22	73.4	179.4	M	NR	YES	Re	Amat	NR	PL+RT	8	24	10M, 30M, SQ
Zghal 2019	14	14.5	60.2	172	NR	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT+SP	7	14	5M, 10M, 20M

Abbreviation's descriptions ordered alphabetically. Avalakov: AVA; Amat: Amateur; Balance: BA; Basketball: Bask; B: Both; Change of direction: COD; Electrostimulation: EL; Exp: Experience; F: Female; Fen: Fencing; Flexibility: FL; Handball: hand; Int: International; M: Male; Mixed sports: Mix; Na: Nacional; No athletes: No ath; NR: No report; PL: Pymometrics; Reg: Regional; Re: Regular; RT: Resistance trainer; Rurby: Rur; Soccer: Soc; Speed: SP; Squat: SQ; Track and Field: Tra; volleyball: Vol; Water polo: War.

4.4.3 Calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios elegibles se muestra en la Tabla 6. Todos los estudios deben considerarse de alto riesgo de sesgo. Asimismo, la evaluación general debe ser de alto riesgo de sesgo. Se puede observar que la mayoría de los estudios (25/31, 70%) tenían un bajo riesgo de sesgo derivado de la aleatorización, y todos los estudios tenían un bajo riesgo de sesgo de deserción, sesgo de información y otros sesgos. En todos los estudios se encontró un alto riesgo de sesgo de ejecución y de detección, y en la mayoría de los estudios se detectó un alto riesgo de sesgo de selección, sólo hubo una excepción.

Tabla 6: Calidad metodológica

	Generación de secuencias aleatorias (Sesgo de selección)	Ocultación de la asignación (Sesgo de selección)	Cegamiento de los participantes y del personal (sesgo de rendimiento)	Cegam. de la evaluación de resultados (Sesgo de detección)	Datos de resultados incompletos (Sesgo de deserción)	Información selectiva (Sesgo de información)	Otros sesgos
Álvarez 2012	+	-	-	-	+	+	+
Arede 2019	-	-	-	-	+	+	+
Bouteraa 2018	+	-	-	-	+	+	+
Chaouachi 2014	+	-	-	-	+	+	+
Falces 2021	+	-	-	-	+	+	+
Fathi 2019	+	-	-	-	+	+	+
Fatouros 2000	-	-	-	-	+	+	+
Faude 2013	+	-	-	-	+	+	+
Franco 2015	-	-	-	-	+	+	+
Guadalupe 2009	+	-	-	-	+	+	+
Hammami 2018	+	-	-	-	+	+	+
Herrero 2010	+	-	-	-	+	+	+
Kargafard 2020	-	-	-	-	+	+	+
Kijowski 2015	+	-	-	-	+	+	+
Lyttlee 1996	+	-	-	-	+	+	+
Makhlouf 2018	+	-	-	-	+	+	+
Newton 1999	+	-	-	-	+	+	+
Otero 2017	-	-	-	-	+	+	+
Peña 2019	-	-	-	-	+	+	+
Pérez-Gómez 2008	+	-	-	-	+	+	+
Pienaar 2013	+	-	-	-	+	+	+
Qi 2019	+	-	-	-	+	+	+
Ramos 2014	+	-	-	-	+	+	+
Redondo 2014	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2016	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Ronnestad 2008	+	-	-	-	+	+	+
Sáez de Villarreal 2015	+	-	-	-	+	+	+
Tricoli 2005	+	-	-	-	+	+	+
Zghal 2019	+	-	-	-	+	+	+

Tabla de riesgo de sesgo: revisión de los juicios de los autores sobre cada elemento de riesgo de sesgo en todos los estudios incluidos (estudios con grupo de control)

4.4.4 Metaanálisis

4.4.4.1 5m sprint

Ocho estudios proporcionaron datos para el rendimiento de sprint de 5m, con 8 grupos experimentales y 8 de control ($n = 240$). Los resultados mostraron un pequeño efecto no significativo de los participantes entrenados en el rendimiento de sprint de 5 m ($ES = 0,39$; IC del 95% = -0,25 a 1,04; $p < 0,228$; $I^2 = 83,1\%$; en comparación con los controles (Figura 7).

Los resultados no se analizaron según la participación del atleta en los GC específico-activo o tradicional-activo, ya que sólo 1 estudio incluyó la condición de control específico-activo.

Fig. 14: 5m sprint

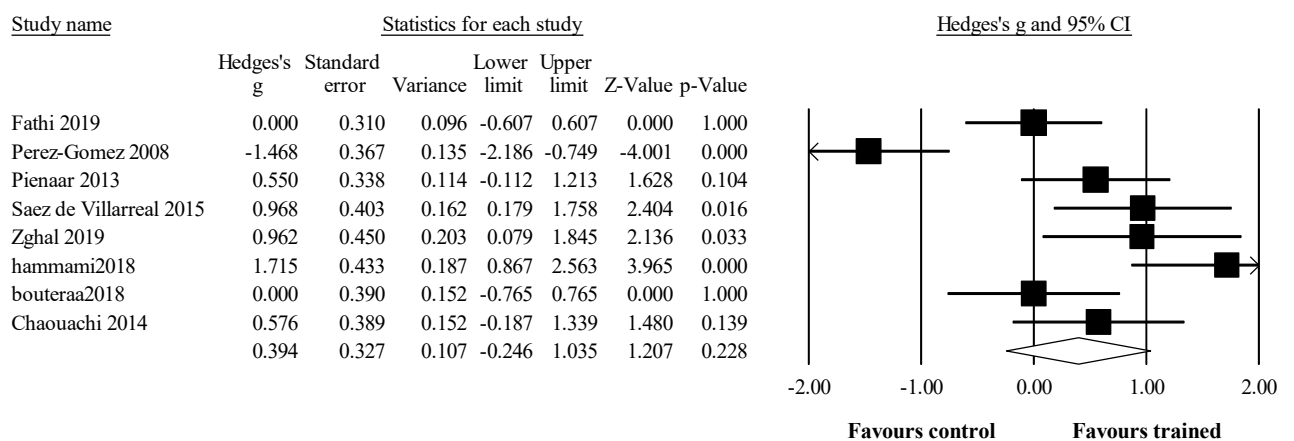


Diagrama de bosque de los cambios en el rendimiento de sprint de 5 m, en los atletas que participan en el entrenamiento PL en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide blanco refleja el resultado global.

4.4.4.2 10m sprint

Dieciocho estudios proporcionaron datos sobre el rendimiento en sprint de 10 m, con 23 grupos experimentales y 21 de control ($n = 595$). Los resultados mostraron un efecto moderado de los participantes entrenados en el rendimiento de sprint de 10 m ($ES = 0,67$; $IC\ del\ 95\% = 0,37\ a\ 0,97$; $p < 0,001$; $I2 = 66,6\%$; en comparación con los controles (Figura 8).

Los resultados no se analizaron según la participación del atleta en GC específicos-activos o tradicionales-activos, ya que sólo 1 estudio incluyó la condición de control específico-activo.

No se observó un efecto moderador significativo para el tipo de combinación de entrenamiento ($p = 0,682$), con un $ES = 0,61$ después del entrenamiento PL combinado con un método de entrenamiento adicional (12 puntos de datos; $I2 = 72,9$) y un $ES = 0,73$ después del entrenamiento PL combinado con dos o más métodos de entrenamiento (11 puntos de datos; $I2 = 60,1\%$).

No se observó un efecto moderador significativo para el tipo de combinación de entrenamiento ($p = 0,263$), con un $ES = 1,01$ después del entrenamiento PL combinado con el entrenamiento de velocidad (5 puntos de datos; $I2 = 60,0$), un $ES = 0,32$ después del entrenamiento de PL combinado con el EF (7 puntos de datos; $I2 = 73,7\%$), y un $ES = 0,73$ después del entrenamiento PL combinado con 2 o más métodos de entrenamiento (11 puntos de datos; $I2 = 60,1\%$).

Fig. 15: 10m sprint

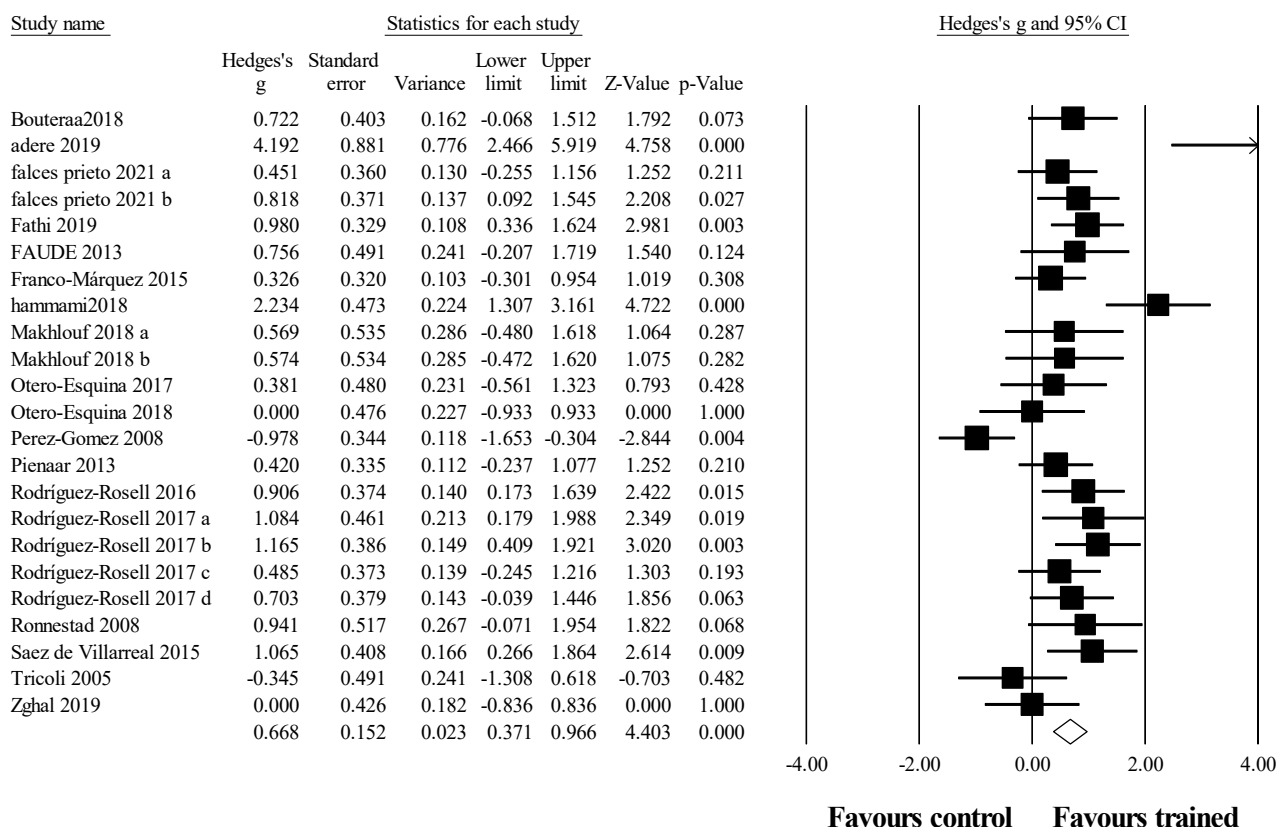


Diagrama de bosque de los cambios en el rendimiento de sprint de 10m, en los atletas que participan en el entrenamiento PL en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide blanco refleja el resultado global.

4.4.4.3 20m sprint

Doce estudios proporcionaron datos sobre el rendimiento en sprint de 20 m, con 18 grupos experimentales y 16 de control (n = 464). Los resultados mostraron un pequeño efecto de los participantes entrenados en el rendimiento de sprint de 20 m (ES = 0,45; IC del 95% = 0,21 a 0,70; p < 0,001; I2 = 43,3%; en comparación con los controles (Figura 9).

Los resultados no se analizaron en función de la participación del atleta en GC específicos-activos o tradicionales-activos, ya que ningún estudio incluyó la condición de control específico-activo.

No se observó un efecto moderador significativo para el tipo de combinación de entrenamiento ($p = 0,139$), con un $ES = 0,25$ después del entrenamiento PL combinado con un método de entrenamiento adicional (9 puntos de datos; $I^2 = 59,9$) y un $ES = 0,63$ después del entrenamiento de PL combinado con dos o más métodos de entrenamiento (9 puntos de datos; $I^2 = 0,0\%$).

Fig. 16: 20m sprint

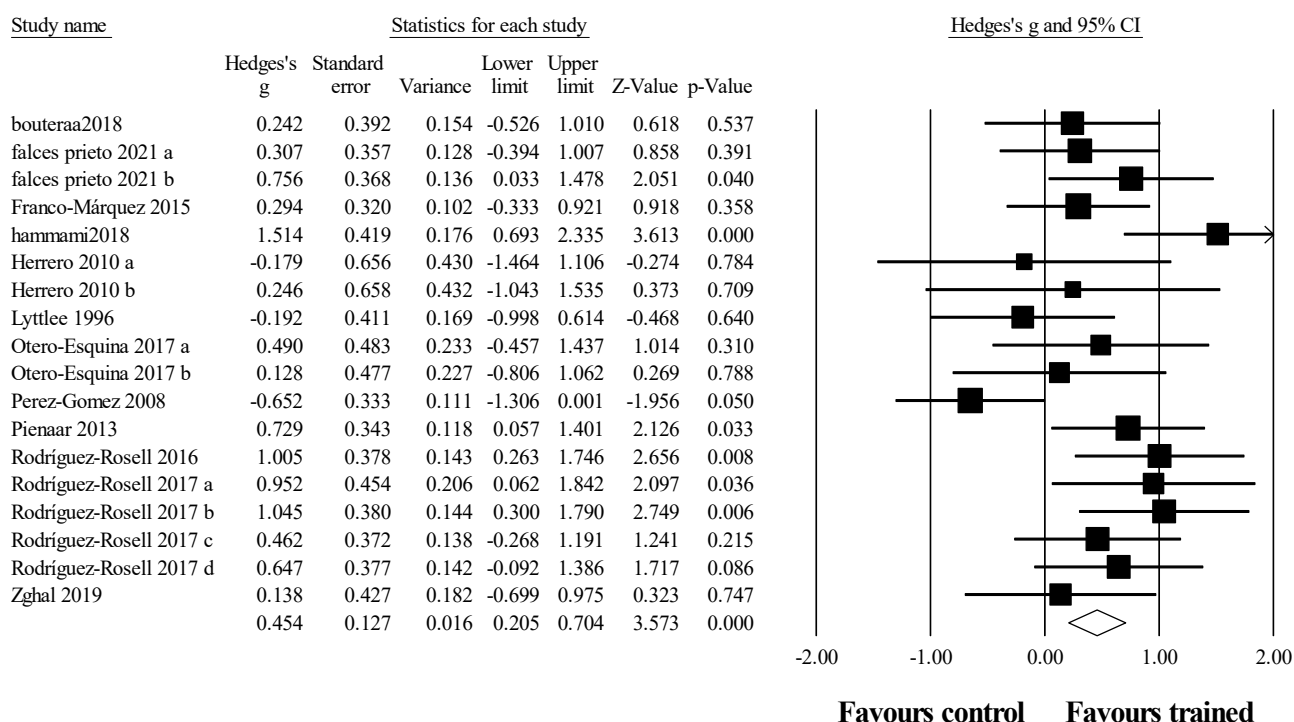


Diagrama de bosque de los cambios en el rendimiento de sprint de 20 m, en los atletas que participan en el entrenamiento PL en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide blanco refleja el resultado global.

4.4.4.4 30m sprint

Diez estudios proporcionaron datos sobre el rendimiento en sprint de 30 m, con 15 grupos experimentales y 12 de control (n = 437). Los resultados mostraron un pequeño efecto de los participantes entrenados en el rendimiento de sprint de 30 m (ES = 0,46; IC del 95% = 0,20 a 0,71; p < 0,001; I2 = 25,9%; Figura 10) en comparación con los controles.

Los resultados no se analizaron en función de la participación del atleta en GC específicos-activos o tradicionales-activos, ya que ningún estudio incluyó la condición de control específico-activo.

Se observó un efecto moderador significativo para el tipo de combinación de entrenamiento (p = 0,010), con un ES = 1,03 tras el entrenamiento PL combinado con el de velocidad (4 puntos de datos; I2 = 11,8) y un ES = 0,22 tras el entrenamiento PL combinado con el EF (9 puntos de datos; I2 = 0,0%).

Fig. 17: 30m sprint

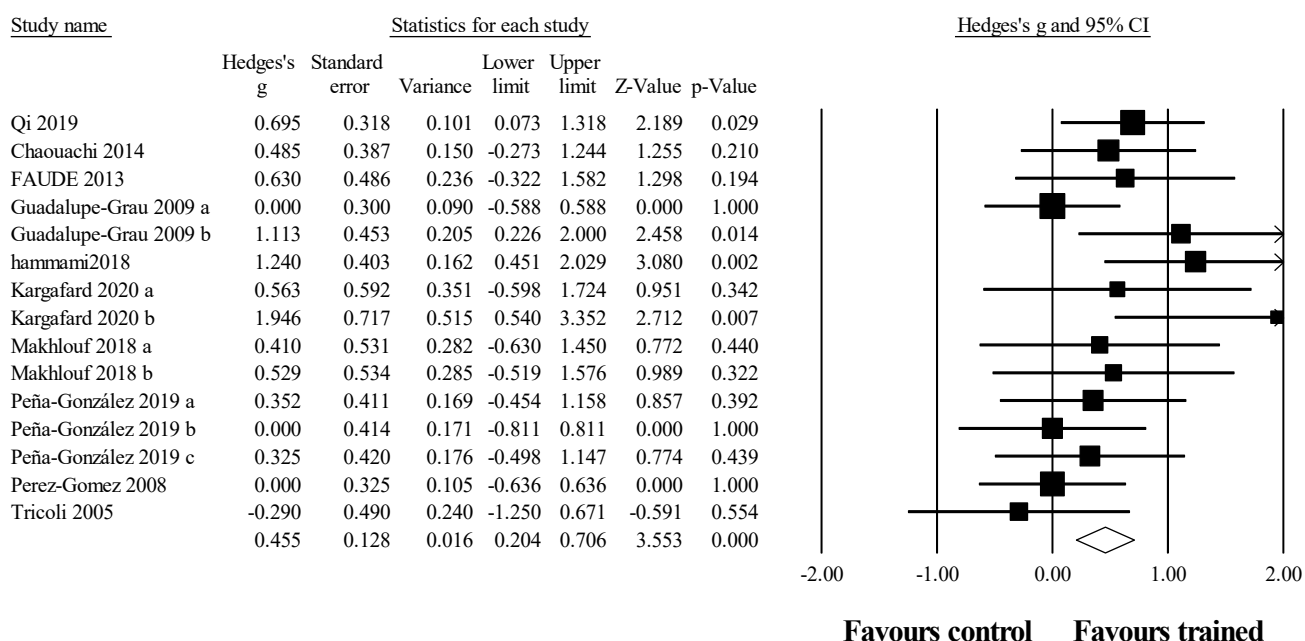


Diagrama de bosque de los cambios en el rendimiento de sprint de 30 m, en los atletas que participan en el entrenamiento PL en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El

romboide blanco refleja el resultado global.

4.4.4.5 Sentadilla

Quince estudios proporcionaron datos sobre el rendimiento máximo en sentadilla, con 21 grupos experimentales y 19 de control ($n = 547$). Los resultados mostraron un gran efecto de los participantes entrenados en el rendimiento máximo de sentadillas ($ES = 1,53$; IC del 95% = 0,98 a 2,07; $p < 0,001$; $I2 = 85,2\%$; Figura 11) en comparación con los controles.

Los resultados no se analizaron según la participación del atleta en GC específicos-activos o tradicionales-activos, ya que sólo 2 estudios incluyeron condiciones de control específicas-activas.

Se observó un efecto moderador significativo para el tipo de combinación de entrenamiento ($p = 0,013$), con un $ES = 2,02$ después del entrenamiento PL combinado con el EF (15 puntos de datos; $I2 = 89,2$) y un $ES = 0,90$ después del entrenamiento PL combinado con dos o más métodos de entrenamiento (6 puntos de datos; $I2 = 0,0\%$).

Fig. 18: Sentadilla

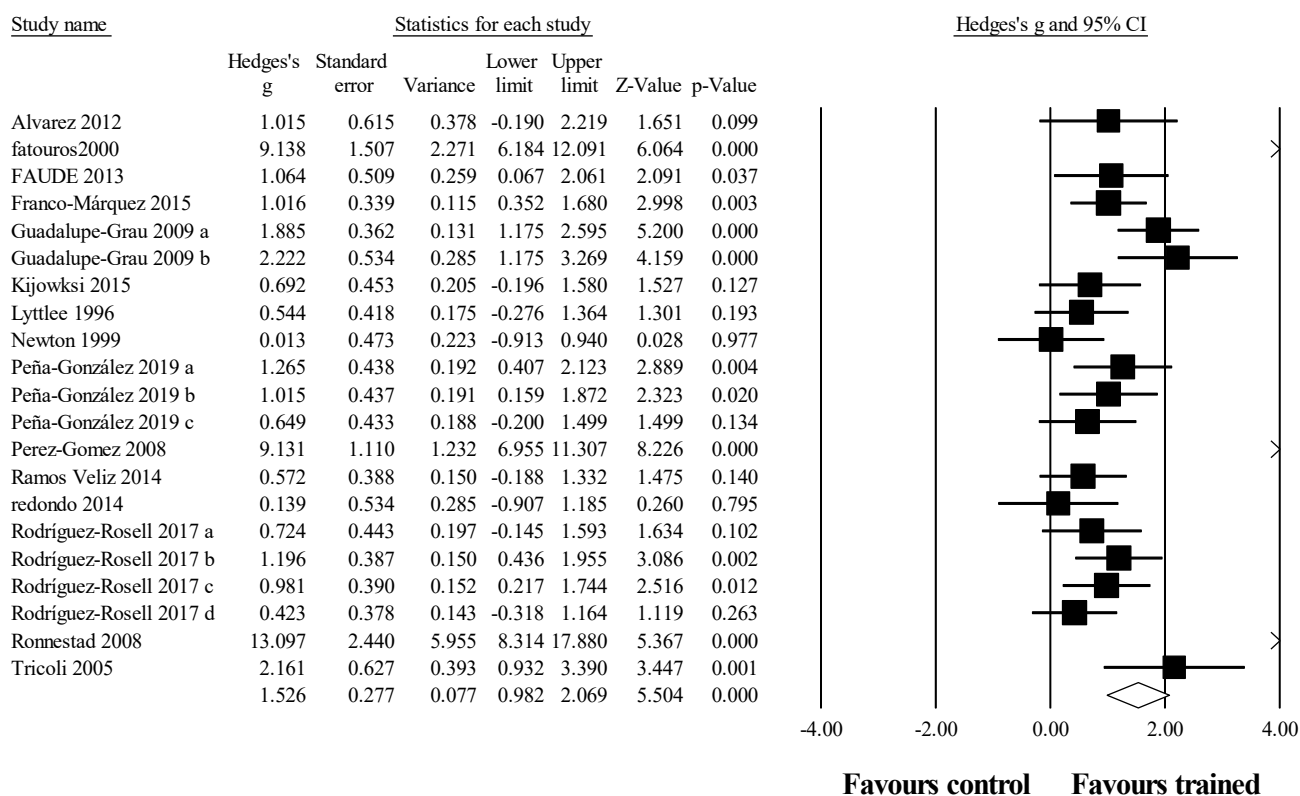


Diagrama de bosque de los cambios en el rendimiento de la sentadilla, en los atletas que participan en el entrenamiento PL en comparación con los controles. Los valores mostrados son los tamaños del efecto (g de Hedges) con intervalos de confianza (IC) del 95%. El tamaño de los cuadrados trazados refleja el peso estadístico del estudio. El romboide blanco refleja el resultado global.

4.5 Discusión

El propósito de este metaanálisis fue determinar los efectos de la EC en comparación con las condiciones de control en el rendimiento de velocidad y fuerza. Encontramos que el EC puede ser empleada para mejorar el rendimiento en el tiempo de sprint y el 1RM de la sentadilla). Además, nos propusimos identificar las características del entrenamiento que podrían tener un mayor efecto moderador. Los principales resultados indican que hubo diferencias estadísticamente significativas entre EC y GC. El EC tuvo efectos positivos moderados en la ES de 10m sprint=0,67; pequeños efectos en la ES de 20m sprint=0,45; pequeños efectos en la ES de 30m sprint=0,46; y grandes efectos en la ES

de 1RM sentadilla=1,53 en comparación con las condiciones de control. Esto implica que el EC afecta significativamente al rendimiento en la población sana y deportiva.

Cuando se analizaron los resultados según la participación de los atletas en el entrenamiento de PL combinado con uno o dos métodos de entrenamiento, no se encontraron efectos moderadores significativos en 10m y 20m. Asimismo, no se encontraron efectos moderadores significativos en 10m cuando los resultados se compararon entre PL combinado con entrenamiento de velocidad o PL combinado con EF o PL combinado con 2 o más métodos de entrenamiento, este resultado sugiere que los científicos del deporte y los profesionales de la fuerza y el acondicionamiento pueden utilizar cualquier método de combinación para lograr adaptaciones positivas en las variables de rendimiento neuromuscular en el deporte y la población sana. Curiosamente, se observaron mejoras significativas en el rendimiento de sprint (30m) después de combinar PL con velocidad en comparación con PL con EF, es plausible que se necesiten mayores volúmenes o cambios en el estímulo de sprint para provocar adaptaciones en atletas y participantes sanos en comparación con los estudios que no tenían un estímulo de velocidad (Hammami et al., 2019; Makhoulf et al., 2018; Prieto et al., 2021; Sáez de Villarreal et al., 2015). Los mismos resultados se producen en 1RM Sentadilla, donde se observaron efectos moderadores significativos tras combinar PL con EF (10,96,119,248,276,327) en comparación con PL combinado con dos o más métodos. Estos resultados sugieren que la especificidad del entrenamiento desempeña un papel clave en la mejora de la velocidad y la fuerza. Aunque de forma indirecta, se obtuvieron mejoras en la velocidad en los grupos que trabajaron PL más EF (39,95,250,252) y mejoras en la fuerza en los grupos que entrenaron PL más dos o más metodologías (98,102,273,274). Las mejoras fueron mayores en los grupos que trabajaron específicamente esta cualidad. Esto apoya la hipótesis de que la combinación de diferentes métodos en una misma sesión podría ser una solución importante para trabajar todas las cualidades y poder desarrollarlas de forma óptima. Los resultados de este metaanálisis proporcionan una confirmación a las revisiones narrativas previas (22,62,321) sobre los efectos del entrenamiento PL combinado con el EF para la mejora de la fuerza y la velocidad.

Las mejoras obtenidas en el rendimiento de fuerza y velocidad tras la aplicación de un programa de EC pueden deberse a adaptaciones tanto mecánicas como fisiológicas

similares a las obtenidas con un programa de PL o EF, pero estas mejoras pueden verse potenciadas si se combinan en un mismo entrenamiento (45,271,289). Dentro de estas adaptaciones, podemos encontrarlas a nivel hormonal (por ejemplo, aumento de testosterona) (8,25) y adaptaciones celulares favorables a la generación de fuerza-potencia. Además, a nivel de adaptaciones estructurales, se ha reportado que después de 19 semanas de RT solo, el número de fibras tipo IIX se redujo (311), las fibras tipo IIX son las fibras que se contraen a mayor velocidad y por lo tanto son capaces de generar mayores niveles de potencia y por lo tanto importantes durante acciones de máxima intensidad y corta duración (por ejemplo, aceleración y sprint) (38,106,136,203). En contra se ha visto que tras un programa que incluye EC éstas se preservan en comparación con un programa de EF (311). Otros estudios que han incluido PT o EC obtuvieron resultados similares (117,202,203). También se observó un mayor reclutamiento de fibras musculares de contracción rápida durante el EC, posiblemente debido a la combinación de cargas altas a baja velocidad con cargas bajas a alta velocidad (110). Además, el EC puede ayudar a producir una mejor coordinación y sincronización de los grupos musculares que están desarrollando la acción para mejorar y potenciar las habilidades motoras, esto se puede ver por una mejor transferencia de energía en la fase concéntrica y excéntrica del movimiento muscular (66,271). Por lo tanto, la mejora de estas adaptaciones mejorará la velocidad, el salto y la agilidad (47,107). Desde otro punto de vista, la EC puede llevar a optimizar la curva fuerza-velocidad del atleta debido a que se combinan cargas bajas (es decir, PL) con cargas altas (es decir, EF) (61). De este modo, al prescribir este entrenamiento, el entrenador se asegura de que el atleta ha trabajado los dos grandes componentes del continuo. Debido a la importancia de los parámetros del espectro fuerza-velocidad (165), cabe pensar que estas mejoras en el rendimiento obtenidas tras el EC pueden creerse comprensiblemente debidas a una optimización del EC del espectro fuerza-velocidad. Los resultados de nuestro metaanálisis pueden ofrecer un hallazgo positivo entre una población más amplia de atletas.

Se reconocen algunas limitaciones. En primer lugar, se observó una gran heterogeneidad en los estudios incluidos en este análisis, ya que tenían poblaciones y características de entrenamiento diferentes. En segundo lugar, los resultados de nuestra revisión sistemática sugieren la ausencia de estudios de EC con mujeres, sólo dos estudios (39,119). Por lo tanto, los resultados actuales no deben extrapolarse sin más a las mujeres deportistas. Las futuras investigaciones sobre EC deberían incluir a mujeres para superar esta deficiencia de la literatura. Otra de las principales deficiencias observadas en esta revisión sistemática

es que se incluyó una mayor cantidad de estudios de fuerza combinada con PL en comparación con la PL combinada con otras metodologías (por ejemplo, velocidad, CDD, tres o más métodos combinados).

Nuestros resultados corroboran nuestra hipótesis de que el entrenamiento PL combinado mejora la fuerza y la velocidad en comparación con el GC. Aunque la heterogeneidad observada entre los estudios fue elevada. Sin embargo, tres de las cuatro pruebas de velocidad y la prueba de fuerza mejoran significativamente tras las intervenciones combinadas. Desde una perspectiva aplicada, el EC puede utilizarse para lograr adaptaciones positivas en las variables de rendimiento neuromuscular en los atletas. Esto puede ser de interés para entrenadores y atletas que busquen una forma más eficiente en el tiempo de incorporar ejercicios de menor y mayor carga en su programa de entrenamiento (22,62).

4.6 Conclusión

El entrenamiento combinado de PL es eficaz para mejorar el tiempo de sprint y las ganancias de fuerza en participantes sanos y atletas. Asimismo, la combinación de PL con velocidad en comparación con PL con EF es más eficaz en el rendimiento de sprint (30 m) y la combinación de PL con fuerza parece proporcionar mayores mejoras en comparación con PL combinado con dos o más metodologías en 1RM Sentadilla. Sin embargo, en la actualidad no está claro el papel que pueden desempeñar variables moderadoras como la frecuencia, la duración o el número total de sesiones, ni las relaciones dosis-respuesta específicas tras el entrenamiento combinado, especialmente a largo plazo.

**5 . ESTUDIO 3: EFECTOS DEL
ENTRENAMIENTO COMBINADO
DE PLIOMETRÍA, VELOCIDAD Y
CAMBIO DE DIRECCIÓN SOBRE
EL RENDIMIENTO FÍSICO EN
JUGADORAS DE FÚTBOL.**

5.1 Resumen

El objetivo de este estudio es determinar la influencia del entrenamiento combinado a corto plazo de pliometría (PL), velocidad y cambio de dirección (COD) dentro de la práctica regular del fútbol en los saltos, la velocidad y el cambio de dirección de jugadoras de fútbol durante la temporada. Veintitrés sujetos fueron asignados al azar a PL + velocidad + COD (COMB) o al grupo de control (GC). Los sujetos realizaron 2 sesiones por semana durante 6 semanas. Antes y después del entrenamiento, se analizaron los saltos con contramovimiento (CMJ), salto con contramovimiento con brazos (CMJA), sprints de 10 metros (m) - 20 metros y pruebas L-RUN. El análisis dentro del grupo mostró mejoras sustanciales en CMJ (tamaño del efecto [ES] = 0.92), sprint de 20 m (ES: <0.001), L-run (ES: <0.001). El análisis entre grupos mostró mejoras significativas en el sprint de 20 metros ($p \leq 0.001$). No se observaron mejoras significativas en CMJ ($p \leq 0.95$); CMJA ($p \leq 0.61$); sprint de 10 m ($p \leq 0.23$); L-Run ($p \leq 0.24$) en los grupos experimentales en comparación con el GC. La sustitución de algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad con ejercicios de PL combinados con sprints y COD, durante el calentamiento, podría ser una opción posible para optimizar el rendimiento en sprint.

Palabras clave: agilidad, salto vertical, velocidad, aceleración, jugador de fútbol, pliometría, fuerza

Abstract

The objective of this study is to determine the influence of short-term combined plyometrics (PL), speed and change of direction (COD) training (6 weeks) within regular soccer practice on the jumping, speed and COD of female soccer players during the season. Twenty-three subjects were randomly assigned to PL+ speed + COD (COMB), or control group (CG). Subjects performed 2 sessions per week for 6 weeks. Before and after training contramovement jump (CMJ), contramovement jump with arms (CMJA), 10 metres (m) - 20m sprint and L-RUN tests were analysed. Within-group analysis showed substantial improvements in CMJ (effect size [ES] = 0.92), 20m sprint (ES: <0.001), L-run (ES: <0.001). Between-group analysis showed significant improvements in 20m sprint ($p \leq 0.001$). No significant improvements in CMJ ($p \leq 0.95$); CMJA ($p \leq 0.61$); 10m sprint ($p \leq 0.23$); L-Run ($p \leq 0.24$) in experimental groups in comparison to CG. The replacement of some low-intensity football drills with PL exercises combined with sprints and COD, during warm-up may be a possible option to optimise sprint performance.

Keywords: agility, vertical jump, speed, acceleration, soccer player, plyometrics, strength

5.2 Introducción

El fútbol femenino se ha hecho más popular y ha aumentado su participación en la última década. Debido al crecimiento del fútbol femenino, las jugadoras están ahora más expuestas que nunca a las exigencias físicas del juego. Por lo tanto, para desarrollar mejores programas de entrenamiento, es necesario comprender mejor los cambios en el rendimiento de las jugadoras (247). A pesar de ello, todavía existe muy poca literatura científica sobre este tema.

En el fútbol actual, se exige a los jugadores que sean cada vez más atléticos. Esto hace que las exigencias físicas y fisiológicas sean más importantes tanto en los futbolistas jóvenes como en los mayores. Dentro de estas demandas encontramos acciones que se producen a intensidad moderada (trote), de baja intensidad (caminar) y acciones que se producen a alta intensidad (es decir, eprintar, saltar, recortar, CDD o disparar el balón) (281).

Si se analiza un partido, se observa que aproximadamente un jugador realiza 1.350 acciones (cada 4-6 segundos), entre las que destacan las acciones de alta intensidad, como aceleraciones/desaceleraciones, CDD y saltos, ya que son las acciones más decisivas en un partido (233).

Por tanto, con el objetivo de mejorar el rendimiento, la mejora de estas capacidades, permitiendo al deportista realizar movimientos más rápidos y potentes, será un componente clave en el entrenamiento del futbolista (24,232).

Tanto en el fútbol femenino como en el masculino, la velocidad, la agilidad y la potencia son capacidades esenciales. Por lo tanto, los jugadores que demuestran superioridad sobre los demás en estas cualidades suelen ser seleccionados (269).

Por lo tanto, las sesiones de entrenamiento no sólo deben incorporar tareas a nivel técnico-táctico, sino que también deben incorporar tareas que requieran las acciones de alta intensidad mencionadas anteriormente que exigen altos niveles de fuerza muscular, especialmente en la parte inferior del cuerpo (256,316).

Los investigadores han estudiado una gran variedad de métodos de entrenamiento,

incluidos los métodos de fuerza, PL, velocidad, CDD y combinados, para desarrollar el rendimiento en sprint, SV y CDD (75,80,280,285).

La metodología de entrenamiento de PL está ampliamente respaldada por la literatura científica (17,279,285,286). En jugadoras de fútbol, se ha demostrado que el entrenamiento PL proporciona un estímulo suficiente para mejorar las acciones explosivas (246,264,277).

La PL incluye ejercicios de salto que utilizan la acción muscular del CEA esta es una capacidad del sistema músculo-tendinoso y nervioso que produce la máxima fuerza en el menor tiempo posible durante una transición rápida de una contracción excéntrica a una contracción concéntrica del músculo (212,213). Es importante mencionar que la mayoría de los movimientos de la parte inferior del cuerpo en el fútbol se realizan unilateralmente.

Por lo tanto, es necesario considerar la incorporación de ejercicios PL unilaterales multidireccionales en las intervenciones de entrenamiento de fuerza específicas para el fútbol (262).

La eficacia a la hora de realizar un CDD dependerá de mayores niveles de control motor y equilibrio, una pérdida mínima de velocidad y un esfuerzo corto y máximo con breves periodos de recuperación (131,309). Se ha informado anteriormente de que los atletas habituados a realizar diferentes CDD y carreras cortas de lanzadera se vuelven considerablemente más económicos durante esas acciones específicas. Un programa de entrenamiento que incluya CDD repetidas es necesario para desarrollar la agilidad (24,58,359).

Para maximizar las ganancias, el método Resistido consiste en realizar los mismos ejercicios, pero añadiendo una sobrecarga al atleta (278). La sobrecarga durante las acciones explosivas provoca una mayor activación neural y un mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (90). A este respecto, aún no se ha establecido la carga resistida óptima para el entrenamiento del sprint (251). A pesar de ello, los autores recomiendan que el peso utilizado no disminuya más del 10% del rendimiento conseguido sin peso porque puede producir cambios importantes en la mecánica del atleta (195,307).

La combinación de diferentes métodos de entrenamiento parece ser una forma eficaz de mejorar el rendimiento neuromuscular durante acciones explosivas como saltos, CDD o sprints (239,280). La combinación más estudiada ha sido la de fuerza y PL, y ha demostrado ser un método eficaz para mejorar el rendimiento de estas habilidades motrices futbolísticas (2,96). Por lo tanto, los programas de entrenamiento que combinan EF y PL se recomiendan para los jugadores de fútbol. El tiempo disponible para la mayoría de los equipos de fútbol que no son de elite o academias para las sesiones de entrenamiento de fuerza durante el período de temporada es muy limitado. La búsqueda de estrategias que ahorren tiempo y que al mismo tiempo mejoren el rendimiento en habilidades específicas y prevengan lesiones es crucial (256). Por lo tanto, los entrenadores y los científicos del deporte han realizado importantes esfuerzos para identificar las mejores combinaciones entre las diferentes modalidades de ejercicios de fuerza-potencia y las estrategias de entrenamiento (15,98,146).

En el fútbol femenino, se han obtenido mejoras del rendimiento con combinaciones de PL+ EF (100,119) PL + BL (39,291), PL+ EMS (216). En el fútbol masculino, se han obtenido mejoras del rendimiento con diferentes combinaciones de PL + velocidad (131,256,281), PL+ EF + velocidad (98,245,273,274). Sin embargo, faltan estudios de este tipo en el fútbol femenino, por lo que no es posible extrapolar estos resultados y es necesario analizar las combinaciones de diferentes métodos de entrenamiento en el fútbol femenino.

A la luz de las consideraciones anteriores, el objetivo de este estudio fue examinar los efectos de un programa de PL complementado con un programa de entrenamiento de sprint y CDD durante la temporada en acciones explosivas específicas (velocidad, CDD y salto) entre jugadoras de fútbol. Se planteó la hipótesis de que la combinación de ejercicios técnicos de fútbol y el programa de entrenamiento específico combinado propuesto durante un período de 6 semanas mejoraría las acciones explosivas de las jugadoras (sprint, CDD y salto) en mayor medida que el GC.

5.3 Metodología

5.3.1 Diseño Experimental y planteamiento del problema

Este estudio se diseñó para investigar si se podía obtener un aumento significativo de la potencia muscular en el tren inferior en jugadoras de fútbol si la primera parte de su programa de entrenamiento habitual (es decir, 20 minutos de ejercicios tácticos y técnicos) se sustituía por 6 semanas de entrenamiento combinado (saltos verticales, horizontales y laterales, sprints y ejercicios de CDD).

Se compararon los efectos de 6 semanas de entrenamiento combinado en los grupos de entrenamiento combinado frente a un GC. Ninguno de los grupos realizó ningún otro entrenamiento que no fuera el régimen de entrenamiento de fútbol estándar.

Todos los sujetos fueron evaluados antes (Pre) y después de 6 semanas de entrenamiento (Post) utilizando una batería de pruebas realizadas en el siguiente orden: (a) CMJ; (b) CMJA; (c) sprints lineales de 10-20 m; y (d) prueba de CDD (L-RUN). La intervención se llevó a cabo durante el período final de la temporada (abril-mayo). Durante la semana anterior a este estudio, se llevó a cabo una sesión de familiarización previa para garantizar una técnica de ejecución adecuada en los ejercicios L-RUN, CMJ y CMJA.

5.3.2 Sujetos

31 jugadoras de fútbol semiprofesionales entrenadas ($21,6 \pm 3,42$ años) se ofrecieron como voluntarias para este estudio. Las jugadoras fueron reclutadas del mismo club y estaban compitiendo en la división nacional. Después de la evaluación inicial, las 31 jugadoras de fútbol de cada cohorte se dividieron aleatoriamente en dos grupos: un equipo cuyas jugadoras participaron en el entrenamiento PL combinado con velocidad y CDD (COMB1, n=12) y el otro equipo cuyas jugadoras se inscribieron en el GC (n=11). Sólo se incluyeron en los análisis estadísticos aquellos jugadores que participaron en al menos el 70% de todas las sesiones de entrenamiento (23 jugadores). Debido a una lesión, enfermedad o abandono del estudio, 8 jugadores (5 COMB y 3 GC) se perdieron demasiadas sesiones de entrenamiento o se ausentaron de la sesión posterior a la prueba

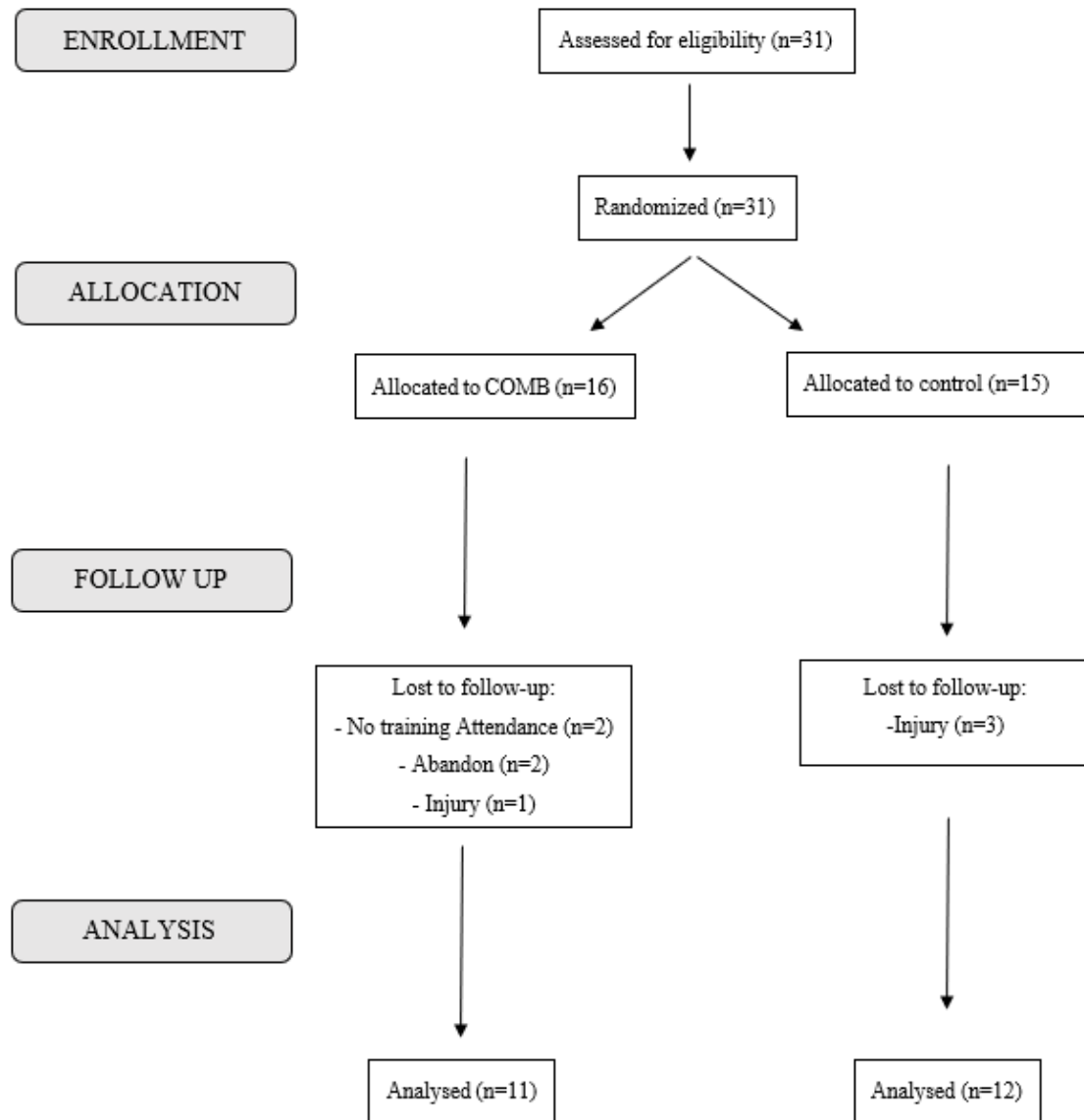
(Figura 19). Las características de los jugadores se muestran en la Tabla 7.

Todas las jugadoras tenían una experiencia jugando al fútbol de más de $11,2 \pm 4,09$ (COMB1), y $11,8 \pm 2,73$ (GC) años. Las jugadoras tenían experiencia en el entrenamiento con pesas, pero no realizaban entrenamiento de fuerza como parte de su rutina normal de entrenamiento.

Para ser incluidas en el estudio, las jugadoras debían no haberse lesionado durante al menos 3 meses antes de participar en el estudio. El entrenador y las jugadoras fueron informados sobre los diferentes procedimientos de las pruebas realizadas durante el estudio. El estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki y se ajusta al Código de Ética de la Asociación Médica Mundial. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Pablo de Olavide. Se obtuvo el consentimiento informado firmado por todas las jugadoras involucradas en esta investigación.

Tabla 7: Características de los grupos (media \pm DE).

Grupo	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	Experiencia fútbol (años)
COMB	23.4 \pm 3.96	163 \pm 3.41	57.3 \pm 3.8	11.2 \pm 4.09
Control	19.9 \pm 1.73	163 \pm 7.75	60.3 \pm 7.55	11.8 \pm 2.73

Fig. 19: Diagrama Consort

5.3.3 Mediciones

5.3.3.1 Medidas antropométricas

Se tomaron medidas antropométricas antes de las pruebas físicas. Se evaluó la masa corporal o la masa de cada sujeto (kilogramos) utilizando una báscula Tanita modelo HD-313 (Tanita Corporation, Tokio, Japón) con una capacidad de 150 kg y una precisión de 0,1 kg más cercana. La altura en pie (centímetros) se midió con un estadiómetro Seca modelo HR-222 (SECA GMBH & Co., Hamburgo, Alemania) con un rango de medición

de hasta 230 cm y una precisión de 0,1 cm. El rendimiento neuromuscular se evaluó antes y después del entrenamiento mediante una batería de pruebas realizadas en dos sesiones, la primera de SV y la segunda de velocidad y CDD, como se describe a continuación. Las pruebas se realizaron tras 48 horas de descanso desde la última sesión de entrenamiento o competición. Las sesiones de pruebas se realizaron en el mismo lugar y a la misma hora del día ($\pm 0,5$ horas). Durante todas las pruebas se proporcionó un fuerte estímulo verbal para motivar a los sujetos a realizar un esfuerzo máximo.

5.3.3.2 Salto Vertical CMJ y CMA (cm).

Se utilizaron pruebas de salto vertical CMJ y Abalakov para maximizar la actividad del ciclo estiramiento-acortamiento y evaluar la fuerza explosiva de los músculos de las extremidades inferiores. Ambas pruebas se realizaron utilizando una plataforma de contacto electrónica (Chronojump Boscosystems, Barcelona, España). Antes de llevar a cabo la prueba de rendimiento, todos los participantes realizaron un calentamiento específico (consistió en 5 minutos de carrera continua, 2 series de 10 repeticiones de sentadilla submáxima sin carga adicional, 1 serie de 10 CMJ submáximos y 1 serie de 10 CMJA submáximos). Durante el CMJ, se instruyó al sujeto a apoyar las manos en las caderas, pero durante la prueba de Abalakov, el uso de las manos era libre mientras se realizaba un movimiento hacia abajo hasta un ángulo de rodilla de $\sim 90^\circ$ seguido de un salto vertical máximo. Se indicó a todos los sujetos que aterrizaran en posición vertical y que flexionaran las rodillas después del aterrizaje. Siguiendo estos enfoques, los participantes completaron tres saltos verticales máximos CMJ y CMJA, cada uno separado por un período de descanso de 45 segundos.

Fig. 20: Test salto vertical



5.3.3.3 10-20 Metros sprint test.

Se realizaron pruebas de velocidad en una superficie de césped artificial, utilizando calzado de fútbol por parte de los participantes. Estas evaluaciones se llevaron a cabo mediante el empleo de fotocélulas eléctricas (Microgate, Bolzano, Italia). El protocolo de calentamiento consistió en 5 minutos de carrera y 2 series de 4 de aceleraciones de carrera progresivamente más rápidas de 10-20 m, se siguió en el pretest y el posttest. Cada sujeto completó tres sprints lineales, siendo cronometrados los tiempos en distancias de 10 m y 20 m, respectivamente. La posición de partida se estandarizó, requiriendo que el pie izquierdo estuviera situado 0,2 m detrás de la línea de salida, mientras que el pie derecho debía estar aproximadamente alineado con el talón del pie izquierdo. Se seleccionó el mejor resultado de cada prueba para su posterior análisis. Se concedió a los participantes un intervalo de descanso de 180 segundos entre cada acción.

5.3.3.4 L-RUN test.

La agilidad fue evaluada utilizando la prueba L-Run, la cual mide la capacidad de los sujetos para cambiar rápidamente de dirección. Previamente a la realización de la prueba de rendimiento, todos los participantes llevaron a cabo un calentamiento específico, el cual consistió en tres pruebas submáximas. Estas pruebas se realizaron colocando tres conos a una distancia de 5 m entre ellos, dispuestos en forma de "L". Durante la prueba, se indicó al sujeto que posicionara el pie delantero a 0,2 m antes de la primera puerta de cronometraje al inicio del test. Los jugadores comenzaban desde una posición de pie y debían correr hacia adelante durante 5 m, girar hacia su izquierda, correr otros 5 m hacia adelante, realizar un giro de 180° y seguir el mismo recorrido para regresar a la línea de salida/llegada (344). La prueba concluía cuando el participante cruzaba la línea de salida/llegada. Se instruyó a los jugadores a correr lo más rápido posible a lo largo de la "L". Los tiempos fueron registrados mediante fotocélulas (Microgate, Bolzano, Italia). Cada participante completó tres pruebas, separadas por un período de descanso de 3 minutos, y se utilizó el mejor rendimiento obtenido para el análisis posterior.

Fig. 21: *Test COD*

5.3.4 Protocolo experimental

Los grupos de entrenamiento entrenaron dos veces por semana, los martes y los jueves, durante un periodo de 6 semanas. Las sesiones de entrenamiento de intervención duraban unos 20 minutos. La tabla 8 describe el programa de entrenamiento. En todas las sesiones, el calentamiento consistió en 5 minutos de trote. El programa de entrenamiento para los grupos COMB se dividió en dos bloques de 3 semanas, las tres primeras semanas realizando todos los ejercicios con el peso corporal y las tres semanas siguientes con ~9% del peso corporal de la media del grupo añadido a todos los ejercicios mediante un chaleco de peso. El trabajo pliométrico se dividió en dos días: el primer día de la semana se realizaron saltos con ambas piernas y el segundo día se realizaron saltos con una pierna.

El grupo COMB realizó 75 saltos y 9 sprints con CDD. Todas las series terminaron con un final en miniporterías

Tabla 8: Programa de entrenamiento

PROGRAMA	BLOQUE 1		BLOQUE 2	
	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 1	DÍA 2
	Sesiones 1-3- 5	Sesiones 2-4- 6	Sesiones 7-9- 11	Sesiones 8-10- 12
Grupo Combinado				
Salto al cajón	5X3	----	5X3	---
Aterrizajes	---	5X3	---	---
Drop jump	---	---	---	5X3
Salto horizontal 2 piernas	10X3	---	10X3	---
Salto horizontal 1 pierna	---	10X3	---	10X3
Salto lateral 2 piernas	10X3	---	10X3	---
Salto lateral 1 pierna	---	10X3	---	10X3
5 metros sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
10 metros sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
20 metros sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
45° CDD	1X3	1X3	1X3	1X3
90° CDD	1X3	1X3	1X3	1X3
180° CDD	1X3	1X3	1X3	1X3

5.3.5 Análisis estadístico

Se calcularon las estadísticas descriptivas (media \pm desviación estándar (DE)) de las distintas variables. Se ejecutaron pruebas T de muestras independientes para analizar las diferencias entre los dos grupos experimentales en cuanto a antropometría (altura, peso). Se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas (Grupo \times Tiempo) para analizar las variables de rendimiento tras el entrenamiento (pre y post intervención). Cuando el ANOVA reveló efectos principales o interacciones significativos, se aplicó una prueba post hoc de Bonferroni para comprobar la discriminación entre medias. El nivel de significación estadística se fijó en $p < 0,05$. Los tamaños del efecto se interpretaron utilizando rangos previamente esbozados ($<0,2$ = trivial; $0,2-0,6$ = pequeño, $0,6-1,2$ = moderado, $1,2-2,0$ = grande, $2,0-4,0$ = muy grande, $>4,0$ = extremadamente grande) (155). El efecto más pequeño se clasificó como $0,2$ de la desviación estándar entre sujetos (155).

5.4 Resultados

Características antropométricas

No se observaron diferencias significativas en las variables antropométricas medidas (peso corporal y altura) en el pre-test entre el experimental y el GC.

Salto vertical

Se produjeron mejoras estadísticamente significativas ($p = 0,012$) en el grupo COMB en CMJ (centímetros) (COMB [2,3 cm, ES = 0,92]). No se produjeron aumentos estadísticamente significativos ($p = 0,08$) en CMJA (centímetros) (COMB [1,4 cm, ES = 0,59]). No se observaron diferencias significativas ($p = 0,95$); ($p \leq 0,61$) en CMJ y CMJA respectivamente tras el entrenamiento en la magnitud del incremento entre el grupo experimental y el CG (Tabla 9).

Tiempo de sprint

Se produjeron mejoras estadísticamente significativas ($p \leq 0,001$) en el grupo COMB en la prueba de 20m (segundos) (COMB [0,13 seg, ES = 1,99]). No se produjeron mejoras estadísticamente significativas ($p = 0,45$) en el grupo COMB en la prueba de 10m

(segundos) (COMB [0,01 seg, ES = 0,24]). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,001$) en 20m test después del entrenamiento en la magnitud del aumento entre el grupo experimental y el GC. No se observaron diferencias significativas ($p = 0,23$) en 10m test tras el entrenamiento en la magnitud del incremento entre el grupo experimental y el GC (Tabla 9).

L Run test

Se produjeron incrementos estadísticamente significativos ($p \leq 0,001$) en el grupo COMB en el test L-Run (Segundos) (COMB [0,61 seg, ES = 1,41]). No se observaron diferencias significativas ($p = 0,24$) en la prueba L-run después del entrenamiento en la magnitud del aumento entre el grupo experimental y el GC (Tabla 9).

Tabla 9: Análisis intragrupo: puntuaciones basales y de seguimiento, tamaños del efecto, límites de confianza y valor P.

Grupo	Test	Pre \pm DE	Post \pm DE	Tamaño del efecto y CI	P	Efecto descripción
COMB	CMJA	31.8 \pm 3.13	33.2 \pm 3.87	0.59 (-0.07 - 1.22)	0.08	Pequeño
	CMJ	27.6 \pm 2.76	29.9 \pm 4.03*	0.924 (0.2 - 1.62)	0.012	Moderado
	10M sprint	1.94 \pm 0.06	1.93 \pm 0.08	0.24 (-0.37 - 0.83)	0.448	Pequeño
	20M sprint	3.53 \pm 0.06	3.4 \pm 0.11***	1.99 (0.93 - 3.01)	<0.001	Grande
	L-Run	8.73 \pm 0.33	8.12 \pm 0.36***	1.41 (0.55 - 2.25)	<0.001	Grande
Control	CMJA	28.8 \pm 3.63	30.7 \pm 3.81***	1.31 (0.51 - 2.08)	<0.001	Grande
	CMJ	26.2 \pm 4.16	28.5 \pm 4.34***	1.56 (0.69 - 2.41)	<0.001	Grande
	10M sprint	1.95 \pm 0.1	1.97 \pm 0.08	-0.28 (-0.85 - 0.31)	0.360	Pequeño
Control	20M sprint	3.41 \pm 0.1	3.44 \pm 0.13	-0.46 (-1.05 - 0.15)	0.139	Pequeño
	L-Run	8.96 \pm 0.19	8.52 \pm 0.19***	1.91 (0.93 - 2.86)	<0.001	Grande

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, en comparación con los valores de seguimiento. Abreviaturas: Salto de contramovimiento con brazos (CMJA); Salto de contramovimiento (CMJ).

5.5 Discusión

El objetivo de este estudio fue examinar el efecto de 6 semanas de entrenamiento combinado de PL con sprints cortos y CDD sobre variables determinantes del rendimiento (salto vertical, sprint y CDD) en jugadoras de fútbol durante la temporada.

En este contexto, aceptamos nuestra hipótesis en el sentido de que el método PL combinado con velocidad y CDD durante la temporada mejoraría el rendimiento en sprints de 20m en un grupo de jugadoras de fútbol en comparación con el GC. Sin embargo, no encontramos cambios significativos en las pruebas de salto, CDD y rendimiento en sprint de 10m. al comparar los cambios entre el grupo COMB y el GC.

Los resultados del estudio revelaron que, después de un tratamiento combinado de velocidad y COD, el grupo COMB aumentó significativamente el rendimiento de velocidad en 0,13s (ES: 1,99; $p < 0,001$) para el sprint en 20m. Y aunque el aumento en 10m sprint no fue significativo, 0,01s, (ES: 0,24; $p < 0,45$) en comparación con el CG, tendencia fue positiva por la disminución del rendimiento en ambas pruebas 10m (ES: -0,28; $p < 0,36$) y 20m (ES: -0,46; $p < 0,139$). Estos resultados tienden a apoyar la mayoría de los estudios publicados anteriormente que examinan este tipo de intervenciones de entrenamiento con jugadores de fútbol (215,245,281). Se ha informado de que el sprint depende en gran medida de la capacidad de generar una fuerza máxima relativa, de la RFD y de la capacidad de producción de potencia máxima muscular en la extensión de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera (121). La aplicación de métodos resistidos provoca adaptaciones como: aumento del RFD y aumento de la fuerza muscular (4,137,194,307). También se ha sugerido que puede provocar una mayor activación neural con el aumento de la carga de ejercicio (52) un mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (330) y una mejora de la coordinación intermuscular (90,358). Más allá de las adaptaciones fisiológicas, también puede encontrarse una transferencia positiva a la cinemática (tiempo de contacto, tiempo de vuelo, amplitud y frecuencia de zancada, etc.), lo que se traduce en un aumento del rendimiento (4,68,236).

El éxito de un SV viene determinado por la velocidad en el despegue, y las reducciones del tiempo entre el movimiento excéntrico y el concéntrico durante el entrenamiento de PL permiten al atleta ser más rápido y potente mediante mejoras en la función muscular,

tendinosa y nerviosa (17,28). El éxito en la mejora de la altura de salto durante el entrenamiento PL es atribuible a adaptaciones neurales más que a cambios morfológicos (284). Sin embargo, en el presente estudio no se evaluaron ni la masa muscular ni las variables neuromusculares. Se necesitan más estudios centrados en los factores neuromusculares para corroborar esto en el caso de las futbolistas. Es probable que las adaptaciones al entrenamiento sean neurales, ya que éstas predominan en las primeras etapas del entrenamiento de fuerza y potencia (31) y se ha demostrado que son la principal adaptación al ejercicio de PL (79,225). Las adaptaciones neurales se asocian a la mejora de la MVC, a una activación muscular más sinérgica y menos antagonista (es decir, a la coordinación intermuscular), a un mayor reclutamiento de unidades motoras (es decir, a la coordinación intramuscular) y a la excitabilidad del RE (213). Además, Kobal et al. (175) informaron que el uso de carga adicional durante los saltos ejecutados permitió a los jugadores aplicar mayor fuerza contra el suelo en la dirección del movimiento previsto (ejes vertical u horizontal) durante un período de tiempo más prolongado. Este ajuste mecánico genera mayores impulsos (posiblemente sobrecarga adicional) durante los saltos (67), produciendo así una mayor adaptación de la capacidad de salto en el grupo cargado (175).

A pesar de ello, en este estudio se observaron incluso mejoras significativas en el salto vertical CMJ (ES: 0,92; $p < 0,012$) y no estadísticamente significativas, pero con tendencia positiva (ES: 0,59; $p < 0,08$) entre el pretest y el posttest en el COMB. Cuando se analizaron los resultados con el GC, no se encontraron diferencias significativas. Por lo tanto, se puede concluir que las sesiones regulares de entrenamiento de fútbol fueron suficientes para mejorar la capacidad de salto vertical en ambos grupos. La falta de mejora del grupo COMB con respecto al GC podría deberse a que el entrenamiento aplicado no ha producido un estímulo suficiente, cuando se comparan diferentes frecuencias se ha observado que frecuencias de entrenamiento más altas obtienen mejores resultados que frecuencias más bajas, 3 días frente a 1 o 2 días y 2 días frente a 1 día (116,127,329). Al tratarse de un grupo de jugadoras de nivel semiprofesional, deberían estudiarse los efectos de una mayor frecuencia de entrenamiento, ya que se ha visto que atletas de élite de otros deportes, por ejemplo, levantadores de pesas de élite, pueden beneficiarse del uso de frecuencias de entrenamiento entre 8 y 12 sesiones por semana (130,361).

La metodología combinada se ha aplicado en varias investigaciones recientes realizadas en jugadores de fútbol en las que se incorpora el uso de PL combinada con carga y sin carga con sprints o CDD o ambos (24,133,134,226,256,281). Sin embargo, nuestros datos están en desacuerdo con las investigaciones realizadas en futbolistas que han descrito una mejora del rendimiento en salto tras el entrenamiento combinado de PL con sprints resistidos y CDD (102,272,272). Se necesitan más estudios para corroborar si la combinación de métodos es más beneficiosa para el SV que la sola práctica del fútbol en jugadoras semiprofesionales.

Para comprender las adaptaciones que subyacen tras el programa de entrenamiento al rendimiento en el CDD hay que entender que la capacidad de CDD se refiere a un movimiento planificado de antemano en el que no se requiere una reacción inmediata a un estímulo. Se ve afectada por la fuerza, la potencia y la velocidad del individuo (303). El rendimiento más rápido en la prueba de velocidad en el CDD se describe principalmente por una mayor contribución de las capacidades de fuerza isométrica y excéntrica, así como mayores fuerzas de frenado y propulsión, menor tiempo de contacto, tiempo de frenado y propulsión (308). Sin embargo, dado el componente múltiple de los movimientos CDD, la implementación de tareas de ejercicio que produjeran una sobrecarga excéntrica (157), el entrenamiento unilateral (42), los movimientos multidireccionales (hacia atrás y/o hacia delante y en dirección lateral) (197), y las tareas específicas de ángulo o movimiento(228), pueden ser más beneficiosas que implementadas y una de forma aislada.

Además, algunos estudios que siguen estas directrices examinaron los efectos del entrenamiento combinado sobre el CDD y observaron mejoras significativas tras el entrenamiento (9,132,133,208,281). Sin embargo, en este estudio no se observaron mejoras significativas en la prueba de CDD entre los grupos, lo que concuerda con los hallazgos obtenidos en varias investigaciones recientes (15,24,226). Además, las disimilitudes en las variables del programa agudo (duración, intensidad y frecuencia) y la metodología (periodo y duración de los estudios y edad, sexo y nivel competitivo de los jugadores) podrían contribuir a las discrepancias entre los resultados de los estudios. Los protocolos propuestos en el estudio actual utilizaron una frecuencia de entrenamiento de 2 sesiones semanales que no parece un estímulo suficiente para mejorar los parámetros de potencia en jugadoras de fútbol.

En síntesis, estos datos demostraron claramente que añadir un entrenamiento combinado PL y de sprint en jugadoras de fútbol previamente entrenadas parece ser un buen estímulo para mejorar la velocidad en 10m y 20m. Aunque no se pudieron demostrar mejoras en la capacidad de salto y agilidad, se necesitan más estudios para obtener conclusiones más sólidas.

Este estudio tiene algunas limitaciones. La primera limitación está asociada a la pequeña muestra inscrita. Una muestra mayor podría haber ofrecido una mejor visión sobre el efecto obtenido por los tres protocolos. Una justificación de tal tamaño de la muestra está asociada a la especificidad de la población inscrita y al acceso restrictivo a los jugadores de fútbol en temporada. La segunda limitación está relacionada con el género. No podemos especular que nuestros resultados puedan extenderse a otras poblaciones específicas (por ejemplo, jugadores masculinos de élite). La tercera limitación es el tiempo de la intervención, períodos de entrenamiento más largos pueden producir mayores ganancias que el GC.

5.6 Conclusiones

La sustitución de algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad por PL combinado con sprints y ejercicios CDD durante el calentamiento puede ser una opción potencial para optimizar el rendimiento de sprint durante el entrenamiento de fútbol en temporada. Sin embargo, no se observaron mejoras en la capacidad de salto y CDD cuando los resultados se compararon con GC. Futuros estudios podrían comparar estos resultados con otros géneros, grupos de edad y nivel competitivo de los jugadores. Estas mejoras en el rendimiento de velocidad podrían ayudar al rendimiento en competición y podrían reducir el riesgo de lesiones (16)

5.7 Aplicaciones prácticas

Este estudio demostró que el entrenamiento de PL y sprints cortos con COD durante la temporada mejora el rendimiento en el sprint en jugadoras de fútbol. Esta intervención puede implementarse debido a los posibles efectos beneficiosos de la combinación de

métodos en la misma sesión. Por lo tanto, los entrenadores de fuerza y acondicionamiento pueden incorporar PL y sprints cortos con entrenamiento COD en el entrenamiento de fútbol durante la temporada para mejorar el rendimiento de las jugadoras.

6 . ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO COMBINADO PLIOMETRÍA, FUERZA, VELOCIDAD Y CAMBIO DE DIRECCIÓN EN EL RENDIMIENTO FÍSICO DE JUGADORES JÓVENES DE FÚTBOL MASCULINO: UN ENSAYO CONTROLADO ALEATORIO.

6.1 Resumen

El objetivo de este estudio es determinar la influencia del entrenamiento pliométrico a corto plazo o del entrenamiento combinado (6 semanas) dentro de la práctica regular de fútbol en los saltos y las acciones de cambio de dirección de jóvenes jugadores de fútbol durante la temporada. Treinta jugadores fueron asignados al azar a tres grupos: pliometría (PL), pliometría + velocidad + cambio de dirección (COD) (COMB1) o PL + velocidad + COD + fuerza (COMB2). Todos los jugadores entrenaron 3 veces por semana y los grupos experimentales cambiaron el calentamiento táctico típico por un programa propuesto de pliometría o entrenamiento combinado durante 20 minutos (2 días por semana) durante 6 semanas. Antes y después del entrenamiento, se analizaron los saltos con contramovimiento con brazos libres (CMJA) y las pruebas L-RUN. El análisis dentro de los grupos mostró mejoras significativas en CMJA (ES: 0.73;1.27;1.16) en COMB1, COMB2 y PL, mientras que COMB1 y COMB2 también mostraron mejoras significativas en las pruebas COD (ES: 3.75; 2.15). El análisis entre grupos mostró mejoras significativas mayores en las variables de COD ($p \leq 0.001$; $p \leq 0.001$) en los grupos experimentales en comparación con PL. Finalmente, COMB1 y COMB2 no mostraron mejoras significativas en L-Run ($p \leq 0.234$). La sustitución de algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad con pliometría combinada con fuerza, sprints y COD durante el calentamiento podría ser una opción posible para optimizar la capacidad de salto y cambio de dirección durante el entrenamiento de fútbol en temporada.

Palabras clave: agilidad, salto vertical, velocidad, aceleración, jugador de fútbol, pliometría, fuerza

Abstract

The objective of this study is to determine the influence of short-term plyometric or combined training (6 weeks) within regular soccer practice on the jumping and change of direction actions of young soccer players during the season. Thirty players were randomly assigned to three groups: plyometrics (PL), plyometrics + speed + Change of direction (COD) (COMB1), or PL + speed + COD + strength (COMB2). All players trained soccer 3 times per week and the experimental groups change the typical tactical warm up with a proposed PL or combined training program for 20 minutes (2 days per weeks) for 6 weeks. Before, after training, free-arm countermovement jump (CMJA) and L-RUN tests were analysed. Within-group analysis showed substantial improvements in CMJA (ES: 0.73;1.27;1.16) in COMB1, COMB2 and PL while COMB1 and COMB2 also showed substantial enhancements in COD tests (ES: 3.75; 2.15). Between-group analysis showed substantially greater improvements in COD variables ($p \leq 0.001$; $p \leq 0.001$) in experimental groups in comparison to PL. Finally, COMB1 and COMB2 showed no significant enhancements in L-Run ($p \leq 0.234$). The replacement of some low-intensity football drills with PL combined with strength, sprints and COD. during warm-up may be a possible option to optimise jumping and change of direction ability during in-season football training.

Keywords: agility, vertical jump, speed, acceleration, soccer player, plyometrics, strength.

6.2 Introducción

Debido a que el fútbol es el deporte más popular del mundo, se han realizado muchos estudios para comprender cuáles son las habilidades más importantes que necesitan los jugadores de fútbol (70,151,313). A pesar de ello, todavía existe muy poca literatura científica sobre este tema. Debido a esto, muchos jugadores de fútbol aprenden sus habilidades futbolísticas como resultado de experiencias de entrenamiento individuales en lugar de una instrucción basada en la investigación académica (196,215).

En el fútbol actual, se exige a los jugadores que sean cada vez más atléticos. Esto hace que las demandas físicas y fisiológicas sean más importantes tanto en los futbolistas jóvenes como en los mayores. Dentro de estas demandas encontramos acciones que se producen a intensidad moderada (trotar), de baja intensidad (caminar) y acciones que se producen a alta intensidad (es decir, sprintar, saltar, recortar, CDD o disparar el balón) (281).

Si se analiza un partido, se observa que aproximadamente un jugador realiza 1.350 acciones (cada 4-6 segundos), entre las que destacan las acciones de alta intensidad, como aceleraciones/desaceleraciones, CDD y saltos, ya que son las acciones más decisivas en un partido (233).

Por lo tanto, con el objetivo de mejorar el rendimiento, la mejora de estas capacidades, permitiendo al deportista realizar movimientos más rápidos y potentes, será un componente clave en el entrenamiento del futbolista (24,232).

En el fútbol juvenil, la velocidad, la agilidad y la potencia son capacidades esenciales. Por lo tanto, los jugadores que demuestran superioridad sobre los demás en estas cualidades suelen ser seleccionados (269). Para alcanzar altos niveles de rendimiento en estas cualidades físicas, el entrenamiento debe comenzar a una edad temprana durante el desarrollo del atleta a largo plazo. Un enfoque estructurado del entrenamiento de jóvenes atletas con uno de los objetivos de maximizar el talento deportivo aumentando la probabilidad de convertir a un niño superdotado en un atleta de talla mundial (193).

Por lo tanto, las sesiones de entrenamiento no sólo deben incorporar tareas a nivel técnico-táctico, sino que también deben incorporar tareas que requieran las acciones de alta intensidad mencionadas anteriormente que exigen altos niveles de fuerza muscular,

especialmente en la parte inferior del cuerpo (256,316).

Los investigadores han estudiado una gran variedad de métodos de entrenamiento, incluidos los métodos de fuerza, PL, velocidad, CDD y combinados, para desarrollar el rendimiento en sprint, SV y CDD (75,80,280,285).

La metodología de entrenamiento PL está ampliamente respaldada por la literatura científica (17,279,285,286). En futbolistas jóvenes, se ha demostrado que la PL proporciona un estímulo suficiente para mejorar las acciones explosivas (50,79,180,224,354).

El PL incluye ejercicios de salto que utilizan la acción muscular del CEA que es una capacidad del sistema músculo-tendinoso y nervioso que produce la máxima fuerza en el menor tiempo posible durante una transición rápida de una contracción excéntrica a una contracción concéntrica del músculo (212,213).

Es importante mencionar que la mayoría de los movimientos de la parte inferior del cuerpo en el fútbol se realizan unilateralmente. Por lo tanto, es necesario considerar la incorporación de ejercicios de PL multidireccionales unilaterales en las intervenciones de EF específicas para el fútbol (262).

La eficacia a la hora de realizar un CDD dependerá de mayores niveles de control motor y equilibrio, una pérdida mínima de velocidad y un esfuerzo corto y máximo con breves periodos de recuperación (131,309). Se ha informado anteriormente de que los atletas habituados a realizar diferentes CDD y carreras cortas de lanzadera se vuelven considerablemente más eficientes durante esas acciones específicas. Un programa de entrenamiento que incluya CDD repetidas es necesario para desarrollar la agilidad (24,58,359).

Para maximizar las ganancias, utilizar el método resistido consiste en realizar los mismos ejercicios pero añadiendo una sobrecarga al atleta (278). La sobrecarga durante las acciones explosivas provoca una mayor activación neural y un mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (90). A este respecto, aún no se ha establecido la carga resistida óptima para el entrenamiento de sprints (251). A pesar de ello, los autores

recomiendan que el peso utilizado no disminuya más del 10% del rendimiento conseguido sin peso porque puede producir cambios importantes en la mecánica del atleta (195,307). La combinación de diferentes métodos de entrenamiento parece ser una forma eficaz de mejorar el rendimiento neuromuscular durante acciones explosivas como saltos, CDD o sprints (239,280). La combinación más estudiada ha sido la de EF y PL, y ha demostrado ser un método eficaz para mejorar el rendimiento de estas habilidades motrices futbolísticas (2,96). Por lo tanto, los programas de entrenamiento que combinan fuerza y PL se recomiendan para los jugadores de fútbol. Específicamente en el fútbol juvenil, también se han obtenido mejoras en el rendimiento con diferentes combinaciones de PL+ EF (13,283,291), PL + velocidad (131,256,281), PL+ EF + velocidad (98,245,273,274). El tiempo disponible para la mayoría de los equipos de fútbol que no son de elite o academias para las sesiones de entrenamiento de fuerza durante el período de temporada es muy limitado. La búsqueda de estrategias que ahorren tiempo y que al mismo tiempo mejoren el rendimiento en habilidades específicas y prevengan lesiones es crucial (256). Por lo tanto, los entrenadores y los científicos del deporte han realizado esfuerzos significativos para identificar las mejores combinaciones entre los diferentes modos de ejercicios de fuerza-potencia y las estrategias de entrenamiento (15,98,146).

A la luz de las consideraciones anteriores, el objetivo de este estudio fue examinar los efectos de un programa de PL complementado con un programa de entrenamiento de sprint y CDD o complementado con un programa de entrenamiento de corta duración de fuerza, sprint y CDD sobre las variables de CDD y salto vertical durante la temporada en jugadores de fútbol de pubertad temprana. Se planteó la hipótesis de que la combinación de ejercicios técnicos de fútbol y el programa de entrenamiento específico combinado propuesto durante un período de 6 semanas mejoraría las acciones explosivas de los jugadores (CDD y salto) en mayor medida que el entrenamiento de PL solo.

6.3 Metodología

6.3.1 Diseño Experimental y planteamiento del problema

Este estudio se diseñó para investigar si se podían obtener aumentos significativos de la potencia muscular de la parte inferior del cuerpo en jóvenes jugadores de fútbol

masculinos si la primera parte de su programa de entrenamiento habitual (es decir, 20 minutos de ejercicios tácticos y técnicos) se sustituía por 6 semanas de entrenamiento combinado (saltos verticales, horizontales y laterales, fuerza, sprints y ejercicios de CDD según el grupo).

Los efectos de 6 semanas de entrenamiento combinado se compararon en tres grupos diferentes: un grupo PL y dos grupos de entrenamiento combinado. Ninguno de los grupos realizó ningún otro entrenamiento que no fuera el régimen de entrenamiento de fútbol estándar.

Todos los sujetos fueron evaluados antes (Pre) y después de 6 semanas de entrenamiento (Post) mediante una batería de pruebas realizadas en el siguiente orden: (a) CMJA y (b) prueba de COD (L-RUN). La intervención se llevó a cabo durante el período final de la temporada (abril-mayo). Durante la semana anterior a este estudio, se llevó a cabo una sesión de familiarización previa para garantizar una técnica de ejecución adecuada en los ejercicios L-RUN y CMJA.

6.3.2 Sujetos

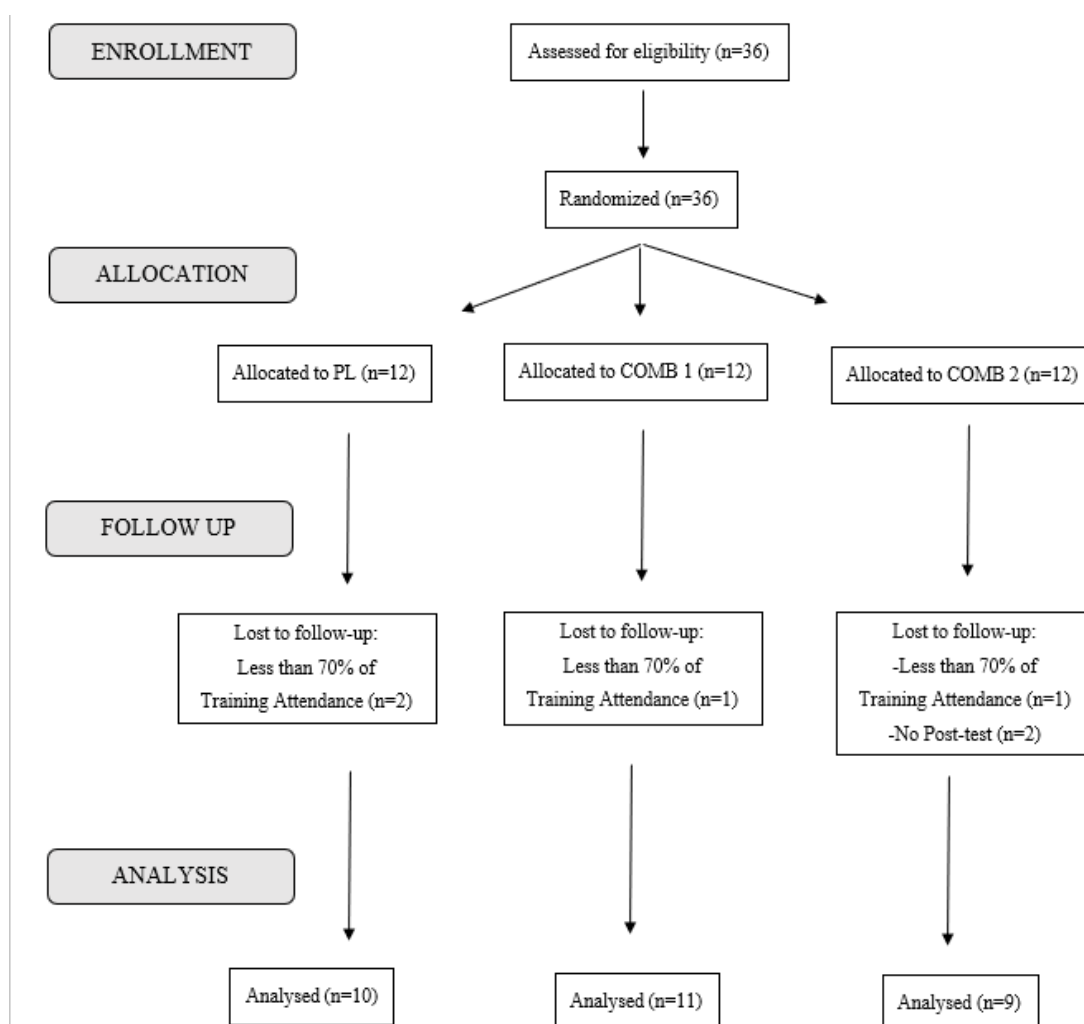
36 jóvenes futbolistas entrenados con edades entre 10 y 12 años se ofrecieron como voluntarios para este estudio. Los sujetos fueron reclutados de la misma academia afiliada a un equipo semiprofesional de la tercera división española y competían en los grupos de edad de la división U11 (n = 12), U11 (n = 12) o U12 (n = 12). Tras la evaluación inicial, los 36 jugadores de fútbol de cada cohorte se dividieron aleatoriamente en tres grupos: los que participaron en el entrenamiento pliométrico (PL, n=10), pliométrico combinado con entrenamiento de velocidad y CDD (COMB1, n=11) y pliométrico combinado con entrenamiento de fuerza, velocidad y CDD (COMB2, n=9). Sólo se incluyeron en los análisis estadísticos aquellos jugadores que participaron en al menos el 70% de todas las sesiones de entrenamiento (30 jugadores). Debido a una lesión o enfermedad, 6 jugadores (2 PL, 1 COMB1 y 3 COMB2) se perdieron demasiadas sesiones de entrenamiento o se ausentaron de la sesión posterior a la prueba (Figura 22). Las características de los jugadores se muestran en la Tabla 10.

Los jugadores tenían experiencia entrenando al fútbol durante más de 4 (PL), 6 (COMB1) y 6 (COMB2) años. Los jugadores no tenían experiencia en el entrenamiento con pesas, y no realizaban EF como parte de su rutina normal de entrenamiento. Para ser incluidos en el estudio, debían no haber sufrido lesiones durante al menos 6 meses antes de participar en el estudio.

El entrenador y los padres fueron informados de los diferentes procedimientos de las pruebas realizadas durante el estudio. El estudio se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki, y se ajusta al Código de Ética de la Asociación Médica Mundial. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Pablo de Olavide. Se obtuvo el consentimiento informado firmado por los padres o tutores de todos los jugadores menores de 18 años involucrados en esta investigación, así como el asentimiento de los jugadores.

Tabla 10: Características de los grupos (media \pm DE).

Grupo	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	Experiencia fútbol (años)
PL	11.3 \pm 0.483	148 \pm 8.64	40 \pm 8.35	3.7 \pm 1.7
COMB1	10.8 \pm 0.405	146 \pm 4.43	39.4 \pm 5.23	5.91 \pm 0.944
COMB2	10.6 \pm 0.527	148 \pm 7.58	38.3 \pm 4.12	5.56 \pm 1.13

Fig. 22: Diagrama del consorte

6.3.3 Mediciones

6.3.3.1 Medidas antropométricas

Se tomaron medidas antropométricas antes de las pruebas físicas. Se evaluó la masa corporal o la masa de cada sujeto (kilogramos) utilizando una báscula Tanita modelo HD-313 (Tanita Corporation, Tokio, Japón) con una capacidad de 150 kg y una precisión de 0,1 kg más cercana. La altura en pie (centímetros) se midió con un estadiómetro Seca modelo HR-222 (SECA GMBH & Co., Hamburgo, Alemania) con un rango de medición de hasta 230 cm y una precisión de 0,1 cm. El rendimiento neuromuscular se evaluó antes y después del entrenamiento mediante una batería de pruebas realizadas en dos sesiones, la primera de SV y la segunda de CDD, como se describe a continuación. Las pruebas se realizaron tras 48 horas de descanso desde la última sesión de entrenamiento o

competición. Las sesiones de pruebas se realizaron en el mismo lugar y a la misma hora del día ($\pm 0,5$ horas). Durante todas las pruebas se proporcionó un fuerte estímulo verbal para motivar a los sujetos a realizar un esfuerzo máximo

6.3.3.2 Salto Vertical CMJ y CMA (cm).

Se utilizaron pruebas de salto vertical CMJ y Abalakov para maximizar la actividad del ciclo estiramiento-acortamiento y evaluar la fuerza explosiva de los músculos de las extremidades inferiores. Ambas pruebas se realizaron utilizando una plataforma de contacto electrónica (Chronojump Boscosystems, Barcelona, España). Antes de llevar a cabo la prueba de rendimiento, todos los participantes realizaron un calentamiento específico (consistió en 5 minutos de carrera continua, 2 series de 10 repeticiones de sentadilla submáxima sin carga adicional, 1 serie de 10 CMJ submáximos y 1 serie de 10 CMJA submáximos). Durante el CMJ, se instruyó al sujeto a apoyar las manos en las caderas, pero durante la prueba de Abalakov, el uso de las manos era libre mientras se realizaba un movimiento hacia abajo hasta un ángulo de rodilla de $\sim 90^\circ$ seguido de un salto vertical máximo. Se indicó a todos los sujetos que aterrizaran en posición vertical y que flexionaran las rodillas después del aterrizaje. Siguiendo estos enfoques, los participantes completaron tres saltos verticales máximos CMJ y CMJA, cada uno separado por un período de descanso de 45 segundos.

6.3.3.3 L-RUN test.

La agilidad fue evaluada utilizando la prueba L-Run, la cual mide la capacidad de los sujetos para cambiar rápidamente de dirección. Previamente a la realización de la prueba de rendimiento, todos los participantes llevaron a cabo un calentamiento específico, el cual consistió en tres pruebas submáximas. Estas pruebas se realizaron colocando tres conos a una distancia de 5 m entre ellos, dispuestos en forma de "L". Durante la prueba, se indicó al sujeto que posicionara el pie delantero a 0,2 m antes de la primera puerta de cronometraje al inicio del test. Los jugadores comenzaban desde una posición de pie y debían correr hacia adelante durante 5 m, girar hacia su izquierda, correr otros 5 m hacia adelante, realizar un giro de 180° y seguir el mismo recorrido para regresar a la línea de

salida/llegada (344). La prueba concluía cuando el participante cruzaba la línea de salida/llegada. Se instruyó a los jugadores a correr lo más rápido posible a lo largo de la "L". Los tiempos fueron registrados mediante fotocélulas (Microgate, Bolzano, Italia). Cada participante completó tres pruebas, separadas por un período de descanso de 3 minutos, y se utilizó el mejor rendimiento obtenido para el análisis posterior.

6.3.4 Protocolo experimental

Los grupos de entrenamiento entrenaron dos veces por semana, los martes y los jueves, durante un periodo de 6 semanas. Las sesiones de entrenamiento de intervención duraban unos 20 minutos. La tabla 11 describe el programa de entrenamiento. En todas las sesiones, el calentamiento consistió en 5 minutos de trote. El programa de entrenamiento para los tres grupos se dividió en dos bloques de 3 semanas, las tres primeras semanas realizando todos los ejercicios con el peso corporal y las tres semanas siguientes con ~12% del peso corporal de la media del grupo añadido a todos los ejercicios mediante un chaleco de peso. La carga de trabajo de los tres programas de entrenamiento diferentes se dividió proporcionalmente. La percepción del esfuerzo se analizó al final de cada intervención de entrenamiento utilizando la Escala de Percepción de Borg. El trabajo PL se dividió en dos días: el primer día de la semana se realizaron saltos con ambas piernas y el segundo día se realizaron saltos con una pierna. En cuanto a la cantidad de carga, se dividió de la siguiente manera: el grupo de PL realizó un total de 150 saltos por sesión. El grupo COMB1 realizó 75 saltos y 9 sprints con CDD. El grupo COMB2 realizó 50 saltos y 6 sprints con CDD. Todos los grupos terminaron las series con un final en miniporrierías.

Fig. 23: Programa de entrenamiento*Tabla 11: Programa de entrenamiento*

PROGRAMA	BLOQUE 1		BLOQUE 2	
	DÍA 1 Sesiones 1-3-5	DÍA 2 Sesiones 2- 4-6	DÍA 1 Sesiones 7- 9-11	DÍA 2 Sesiones 8- 10-12
Grupo Pliometría				
Salto al cajón	5X6	---	5X6	---
Aterrizajes	---	5X6	---	---
Drop jump	---	---	---	5X6
Salto horizontal 2 piernas	10X6	---	10X6	---
Salto horizontal 1 pierna	---	10X6	---	10X6
Salto laterales 2 pierna	10X6	---	10X6	---
Salto laterales 1 pierna	---	10X6	---	10X6
Grupo Combinado 1				
Salto al cajón	5X3	---	5X3	---
Aterrizajes	---	5X3	---	---
Drop jump	---	---	---	5X3
Salto horizontal 2 piernas	10X3	---	10X3	---
Salto horizontal 1 pierna	---	10X3	---	10X3
Salto laterales 2 pierna	10X3	---	10X3	---
Salto laterales 1 pierna	---	10X3	---	10X3
5 metros sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
10 metros sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
20 metros sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
45° CDD	1X3	1X3	1X3	1X3
90° CDD	1X3	1X3	1X3	1X3
180° CDD	1X3	1X3	1X3	1X3
Grupo Combinado 2				
Salto al cajón	5X2	---	5X2	---

Aterrizajes	---	5X2	---	---
Drop jump	---	---	---	5X2
Salto horizontal 2 piernas	10X2	---	10X2	---
Salto horizontal 1 pierna	---	10X2	---	10X2
Salto laterales 2 pierna	10X2	---	10X2	---
Salto laterales 1 pierna	---	10X2	---	10X2
5 metros sprint	1X2	1X2	1X2	1X2
10 metros sprint	1X2	1X2	1X2	1X2
20 metros sprint	1X2	1X2	1X2	1X2
45° CDD	1X2	1X2	1X2	1X2
90° CDD	1X2	1X2	1X2	1X2
180° CDD	1X2	1X2	1X2	1X2
Sentadilla	10X2	10X2	10X2	10X2
Zancada	10X2	10X2	10X2	10X2
Sentadilla lateral	10X2	10X2	10X2	10X2

6.3.5 Análisis estadístico

Se calcularon las estadísticas descriptivas (media \pm desviación estándar (DE)) de las distintas variables. Se ejecutaron pruebas T de muestras independientes para analizar las diferencias entre los dos grupos experimentales en cuanto a antropometría (altura, peso). Se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas (Grupo \times Tiempo) para analizar las variables de rendimiento tras el entrenamiento (pre y post intervención). Cuando el ANOVA reveló efectos principales o interacciones significativos, se aplicó una prueba post hoc de Bonferroni para comprobar la discriminación entre medias. El nivel de significación estadística se fijó en $p < 0,05$. Los tamaños del efecto se interpretaron utilizando rangos previamente esbozados ($< 0,2$ = trivial; $0,2-0,6$ = pequeño, $0,6-1,2$ = moderado, $1,2-2,0$ = grande, $2,0-4,0$ = muy grande, $> 4,0$ = extremadamente grande) (155). El efecto más pequeño se clasificó como $0,2$ de la desviación estándar entre sujetos (155).

6.4 Resultados

6.4.1 Medidas antropométricas

No se observaron diferencias significativas en las variables antropométricas medidas (peso corporal y altura) en la prueba previa entre los grupos combinados y el grupo PL.

6.4.2 Salto Vertical

Se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la variable CMJA (cm) en los grupos PL ($p \leq 0,04$) [1,7 cm, ES = 0,732]), COMB1 ($p \leq 0,002$) [2 cm, ES = 1,27]) y (COMB2 ($p \leq 0,008$) [2,1 cm, ES = 1,16]) (Tabla 12). No se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,847$); ($p \leq 0,749$); ($p \leq 0,861$) en la prueba CMJA tras el entrenamiento en la magnitud del aumento entre los grupos COMB 1, COMB 2 y el grupo PL (Tabla 13).

6.4.3 L-Run test

No se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la variable L-Run (segundos) en el grupo PL ($p \leq 0,728$) [0,03 seg, ES = 0,113]). Se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la variable L-Run (segundos) en los grupos COMB1 ($p \leq 0,001$) [1,28 seg, ES = 3,75]), COMB2 ($p \leq 0,001$) [1,14 seg, ES = 2,15]) (Tabla 12). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,001$); ($p \leq 0,001$) en la prueba L-run después del entrenamiento en la magnitud del aumento entre ambos grupos COMB1 y COMB2 en comparación con el grupo PL. No se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,234$) en la prueba L-run después del entrenamiento en la magnitud del incremento entre el grupo COMB1 y COMB2 (Tabla 13).

Tabla 12: *Análisis dentro del grupo: puntuaciones iniciales y de seguimiento, tamaños del efecto, límites de confianza y valor P.*

Grupo	Test	Pre \pm SD	Post \pm SD	Tamaño efecto y CI	P	Efecto descripción
PL	CMJA	30.7 \pm 5.44	32.4 \pm 5.08	0.732 (0.01 - 1.42)	0.046	Moderado
	L-Run	9.79 \pm 0.598	9.76 \pm 0.611	0.113 (-0.51 - 0.73)	0.728	Trivial

COMB1	CMJA	28.9±4.22	30.9±3.91	1.27 (0.44 - 2.06)	0.002	Grande
	L-Run	9.79±0.556	8.51±0.61	3.75 (2.02 - 5.46)	<0.001	Grande
COMB2	CMJA	29.1±3.81	31.2±4.73	1.16 (0.28 - 2.00)	0.008	Moderado
	L-Run	9.97±0.477	8.83±0.377	2.15 (0.91 - 3.36)	<0.001	Grande

Tabla 13: Diferencias entre los tres grupos en los efectos del entrenamiento.

Test	Comparaciones	P
CMJA	COMB1 vs PL	0.749
	COMB1 vs COMB2	0.847
	COMB2 vs PL	0.861
L-Run	COMB1 vs PL	<0.001
	COMB1 vs COMB2	0.234
	COMB2 vs PL	<0.001

6.5 Discusión

El objetivo de este estudio fue examinar el efecto de sustituir parte del entrenamiento regular en temporada con 6 semanas de entrenamiento dos veces por semana de PL comparado con entrenamiento de PL combinado con sprints cortos y entrenamiento CDD o un programa de entrenamiento de PL combinado con EF, sprints cortos y entrenamiento CDD en niños (10-12 años) jugadores de fútbol en un intento de maximizar el rendimiento físico (salto y CDD).

En este contexto, aceptamos nuestra hipótesis en el sentido de que los dos métodos PL combinados en temporada mejorarían tanto el salto como el rendimiento CDD y un grupo de entrenamiento PL mejoraría significativamente el rendimiento de salto durante un corto período de tiempo en un grupo de jugadores de fútbol infantiles. Estos resultados tienden a apoyar la mayoría de los estudios publicados anteriormente realizados examinando estos tipos de intervenciones de entrenamiento con jóvenes jugadores de fútbol (215,245,281).

El éxito de un SV está determinado por la velocidad en el despegue, y las reducciones de tiempo entre el movimiento excéntrico y concéntrico durante el entrenamiento de PL permiten a un atleta ser más rápido y potente a través de mejoras en la función muscular, tendinosa y nerviosa (17,28).

Este éxito en la mejora de la altura de salto durante el entrenamiento de PL es atribuible a adaptaciones neurales más que a cambios morfológicos (284). Los hallazgos del presente estudio concuerdan con estos autores porque no hubo efectos de interacción ni temporales con respecto al componente de masa muscular. Además, en los niños más pequeños, aunque su sistema neuromuscular no esté completamente maduro (306), la mejora de la potencia muscular depende de factores neurales más que de la fuerza muscular (322).

No obstante, en el presente estudio no se evaluaron ni la masa muscular ni las variables neuromusculares. Se necesitan más estudios centrados en los factores neuromusculares para corroborarlo en el caso de los futbolistas.

Es probable que las adaptaciones al entrenamiento sean neurales, ya que éstas predominan en las primeras etapas del entrenamiento de fuerza y potencia (31) y se ha demostrado que son la principal adaptación al ejercicio pliométrico (79,225).

Las adaptaciones neurales se asocian a la mejora de la contracción voluntaria máxima, a una activación muscular más sinérgica y menos antagonista (es decir, a la coordinación intermuscular), a un mayor reclutamiento de unidades motoras (es decir, a la coordinación intramuscular) y a la excitabilidad del reflejo de estiramiento (213).

Adicionalmente, Kobal et al. (175) informaron de que el uso de una carga adicional durante los saltos ejecutados permitía a los jugadores aplicar una mayor fuerza contra el suelo en la dirección del movimiento previsto (ejes vertical u horizontal) durante un periodo de tiempo más largo. Este ajuste mecánico genera mayores impulsos (posiblemente sobrecarga adicional) durante los saltos (67), produciendo así una mayor adaptación de la capacidad de salto en el grupo cargado (175).

En este estudio, se observaron mejoras significativas en el salto vertical entre la línea de base y el post-test en los grupos combinados, lo que está en concordancia con los hallazgos obtenidos en varias investigaciones recientes realizadas en futbolistas jóvenes en las que se incorpora el uso de pliometría combinada con carga y sin carga con sprints o COD o ambos (24,133,134,226,256,281).

Además, nuestros datos concuerdan con las investigaciones realizadas en futbolistas jóvenes que han descrito una mejora del rendimiento en salto tras el entrenamiento combinado de pliometría con sprints de fuerza y CDD (102,272,272).

Sin embargo, aunque nuestra hipótesis era que la combinación de métodos obtendría mejores resultados que el grupo que realizaba sólo PL, los resultados muestran una mejora en comparación con los grupos combinados por encima de PL, pero sin mejoras estadísticamente significativas. Resultados similares obtienen Arabatzi et al. (13) utilizando un método combinado. Mientras tanto, una tendencia común en los programas de entrenamiento indica que una combinación de métodos es más eficaz para mejorar el rendimiento que los enfoques independientes (2). Se necesitan más estudios para corroborar si la combinación de métodos es más beneficiosa para el salto vertical que el uso isotópico de la PL.

Algunos estudios examinaron los efectos del entrenamiento combinado sobre el CDD y no observaron ninguna ganancia tras el entrenamiento (15,24,226). Por otra parte, en este estudio se observaron mejoras significativas en el test CDD entre el pretest y el posttest en los grupos combinados lo que concuerda con los hallazgos obtenidos en varias investigaciones recientes (9,132,133,208,281).

Así mismo, las disimilitudes en las variables del programa agudo (duración, intensidad y frecuencia) y la metodología (período y duración de los estudios y edad, sexo y nivel competitivo de los jugadores) podrían contribuir a las discrepancias entre los resultados de los estudios.

Otros autores sí obtuvieron diferencias al utilizar ejercicios específicos (por ejemplo, saltos laterales, saltos unilaterales y saltos en ángulo) en el programa PL en comparación con ejercicios de salto no específicos para el CDD (es decir, SV) (91,252). Los resultados de este estudio sugieren que la realización de ejercicios de CDD combinados con PL obtiene mejores resultados que el entrenamiento de PL solo, aunque estos ejercicios sean específicos.

Además, los protocolos propuestos en el presente estudio utilizaron una frecuencia de entrenamiento de 2 sesiones semanales que parece un estímulo suficiente para mejorar los parámetros de potencia en jugadores jóvenes.

Para comprender las adaptaciones que subyacen tras el programa de entrenamiento hay que entender que la capacidad CDD se refiere a un movimiento planificado de antemano en el que no se requiere una reacción inmediata a un estímulo. Se ve afectada por la fuerza, la potencia y la velocidad del individuo (303). El rendimiento más rápido en la prueba de velocidad CDD se describe principalmente por una mayor contribución de las capacidades de fuerza isométrica y excéntrica, así como mayores fuerzas de frenado y propulsión, menor tiempo de contacto, tiempo de frenado y propulsión (308).

Sin embargo, dado el componente múltiple de los movimientos COD, la implementación de tareas de ejercicio que produjeran una sobrecarga excéntrica (157), el entrenamiento unilateral (42), los movimientos multidireccionales (hacia atrás y/o hacia delante y en dirección lateral) [36], y las tareas específicas de ángulo o movimiento (228), pueden ser más beneficiosas que implementadas y una de forma aislada.

En resumen, estos datos demostraron claramente que añadir un entrenamiento combinado PL y de sprint en jugadores de fútbol púberes previamente entrenados de forma moderada parece ser un buen estímulo para mejorar la capacidad de salto y agilidad. Ambos grupos rindieron mejor que el grupo PL en la prueba de CDD y el rendimiento en salto fue similar. teniendo en cuenta que el número de saltos fue menor, por lo que estos resultados indican que los métodos combinados nos proporcionan resultados similares para el salto, pero al mismo tiempo nos permite mejorar otras variables de rendimiento sin utilizar mayor tiempo. Parece una metodología más interesante que la aislada. No obstante, se rechaza la hipótesis de que existiría diferencia entre las medidas finales que contribuyen al rendimiento deportivo entre el COMB2 sobre el COMB1 en el rendimiento en salto y CDD.

Este estudio tiene algunas limitaciones. La primera limitación está asociada a la pequeña muestra inscrita. Una muestra mayor podría haber ofrecido una mejor visión sobre el efecto obtenido por los tres protocolos. Una justificación de tal tamaño de la muestra está asociada a la especificidad de la población inscrita y al acceso restrictivo a jugadores

juveniles en temporada.

La segunda limitación está relacionada con el género. No podemos especular que nuestros resultados puedan extenderse a otras poblaciones específicas (por ejemplo, jugadoras de élite). La tercera limitación está relacionada con el diseño seleccionado para este estudio. Los autores compararon 3 protocolos de entrenamiento sin la participación de un grupo de control.

6.6 Conclusión

En conclusión, el reemplazo de algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad por PL combinados con ejercicios de fuerza, sprints y CDD durante el calentamiento puede ser una opción potencial para optimizar la capacidad de salto y CDD durante el entrenamiento de fútbol de temporada.

Futuros estudios podrían ampliar estos resultados a otros géneros, grupos de edad y nivel competitivo de los jugadores. Estas mejoras podrían ayudar al rendimiento en competición y reducir el riesgo de lesiones (16).

6.7 Aplicaciones prácticas

Este estudio demostró que la PL cargada bisemanal durante la temporada y los sprints cortos con entrenamiento CDD mejoran el rendimiento de salto y la capacidad CDD en jugadores de fútbol jóvenes. Por lo tanto, los entrenadores de fuerza y acondicionamiento deben incorporar pliometría y sprints cortos con entrenamiento CDD en el entrenamiento de fútbol durante la temporada para mejorar el rendimiento de los jugadores

7 . CONCLUSIONES GENERALES

The meta-analyses conducted have provided us with valuable insights into how combining plyometric training with different methodologies is an interesting method for improving performance in jumping, speed, and strength. Secondly, the results obtained in experimental studies have confirmed the findings from the meta-analyses. More specifically, a detailed analysis of the main conclusions of each study included in this thesis has been carried out.

The conclusions drawn from the results obtained in Study 1 are as follows:

- Applying a combined training protocol in athletes and healthy individuals improves vertical jump performance in various vertical jump tests (CMJ, SJ, CMJA, DJ) compared to a control group (GC).
- A combined training protocol in athletes and healthy individuals improves vertical jump performance in different vertical jump tests (CMJ, SJ, DJ) similarly when compared to a traditional active control group or a specific active control group. There were no statistically significant differences when comparing the effect of a combined training program with a traditional active control group or a specific active control group on SV performance in any of the analyzed tests (CMJ, SJ, DJ).
- Two-method combined training is equally effective as three or more-method combined training on jump performance (CMJ). There were no statistically significant differences when comparing groups that combined two training methodologies with groups that combined three or more methodologies within the same session on vertical jump performance (CMJ).

The conclusions drawn from the results obtained in Study 2 are as follows:

- Applying a training program that combines different methodologies in athletes and healthy individuals improves sprint performance in different tests (5m, 10m, 20m, 30m) compared to a GC. In all tests, improvements are statistically significant except for the 5m test.
- Applying a training program that combines different methodologies in athletes and

healthy individuals improves strength performance in the squat test compared to a control group.

- Two-method combined training is equally effective as three or more-method combined training on sprint performance (10m). There were no statistically significant differences when comparing groups that combined two training methodologies with groups that combined three or more methodologies within the same session on sprint performance (10m). No differences were found when combining plyometrics with strength compared to plyometrics with speed or three or more combinations in sprint performance (10m).
- Two-method combined training is equally effective as three or more-method combined training on sprint performance (20m). There were no statistically significant differences when comparing groups that combined two training methodologies with groups that combined three or more methodologies within the same session on sprint performance (20m).
- Plyometrics combined with speed training is more effective than plyometrics combined with strength training on sprint performance (30m). There were statistically significant differences when comparing groups that combined plyometrics with speed with groups that combined plyometrics with strength within the same session on sprint performance (30m).
- Plyometrics combined with strength training is more effective than three or more-method combined training on strength performance (squat). There were statistically significant differences when comparing groups that combined plyometrics with strength with groups that combined plyometrics with two or more methodologies within the same session on strength performance (squat).

The conclusions drawn from the results obtained in Study 3 are as follows:

- Implementing a combined plyometric training program for 6 weeks in semi-professional female soccer players is effective for improving SV (CMJ).
- Implementing a combined plyometric training program for 6 weeks in semi-professional

female soccer players did not produce significant improvements for improving SV (CMJA).

- Implementing a combined plyometric training program for 6 weeks, two days per week, in semi-professional female soccer players did not produce significant improvements for improving sprint (10m).
- Implementing a combined plyometric training program for 6 weeks, two days per week, in semi-professional female soccer players did not produce significant improvements for improving sprint (20m).
- Implementing a combined plyometric training program for 6 weeks, two days per week, in semi-professional female soccer players is effective for improving CDD (L-Run test).
- Implementing a combined plyometric training program is more effective than the GC for improving sprint performance (20m) in semi-professional female soccer players.
- Implementing a combined plyometric training program is not more effective than the GC for improving SV performance (CMJ, CMJA), sprint (10m), and CDD (L-Run test) in semi-professional female soccer players.

The conclusions drawn from the results obtained in Study 4 are as follows:

- Implementing a plyometric training program for 6 weeks, two days per week, in young soccer players is effective for improving vertical jump (CMJA).
- Implementing a combined plyometric training program with speed and change of direction for 6 weeks, two days per week, in young soccer players is effective for improving vertical jump (CMJA) and change of direction performance (L-Run).
- Implementing a combined plyometric training program with strength, speed, and change of direction for 6 weeks, two days per week, in young soccer players is effective for improving vertical jump (CMJA) and change of direction performance (L-Run).

- Implementing a training program that combines three or four training methodologies is equally effective for improving vertical jump (CMJA) and change of direction (L-Run) in young soccer players.
- Implementing a training program that combines three or four training methodologies is more effective than a plyometric training program for improving change of direction performance (L-Run) in young soccer players.
- Implementing a plyometric training program or a training program that combines three or four training methodologies is equally effective for improving vertical jump (CMJ).

8 . LIMITACIONES DE LA TESIS

Los estudios desarrollados para esta Tesis Doctoral, aunque cumplen con el protocolo de investigación científica, no están exentos de limitaciones. El hecho de que los estudios sean diferentes metodológicamente, da lugar a que cada uno presente unas limitaciones específicas.

Se reconocen algunas limitaciones en los dos metaanálisis realizados. En primer lugar, se observó una gran heterogeneidad en los estudios incluidos en este análisis, ya que tenían poblaciones y características de entrenamiento diferentes. En segundo lugar, los resultados de nuestra revisión sistemática con metaanálisis sugieren la ausencia de estudios de EC con mujeres, sólo cinco estudios. Por lo tanto, los hallazgos actuales no deben extrapolarse simplemente a las atletas femeninas. Las futuras investigaciones sobre EC deberían incluir a las mujeres para superar esta deficiencia en la literatura. Otra de las principales deficiencias observadas en este metaanálisis es que se incluyó una mayor cantidad de estudios de fuerza combinada con pliometría en comparación con la pliometría combinada con otras metodologías (por ejemplo, velocidad, CDD, tres o más metodologías combinadas). Además, el uso de mediciones directas e indirectas y de diversos instrumentos y procedimientos de prueba utilizados para medir la SV, no puede descartarse como un posible factor que podría haber afectado al resultado de los resultados.

En el estudio 3 encontramos las siguientes limitaciones. La primera limitación está asociada a la pequeña muestra inscrita. Una muestra más grande podría haber ofrecido una mejor visión sobre el efecto obtenido por los tres protocolos. Una justificación de tal tamaño de muestra está asociada a la especificidad de la población inscrita y al acceso restrictivo a los futbolistas en temporada. La segunda limitación está relacionada con el género. No podemos especular que nuestros resultados puedan extenderse a otras poblaciones específicas (por ejemplo, jugadores masculinos de élite). La tercera limitación es el tiempo de la intervención, los períodos de entrenamiento más largos pueden producir mayores ganancias que el grupo de control.

En el estudio 4 encontramos las siguientes limitaciones. La primera limitación está asociada a la pequeña muestra inscrita. Una muestra mayor podría haber ofrecido una mejor visión sobre el efecto obtenido por los tres protocolos. La justificación de este tamaño de muestra está asociada a la especificidad de la población inscrita y al acceso

restringido a los jugadores en temporada. La segunda limitación está relacionada con el género. No podemos especular que nuestros resultados puedan extenderse a otras poblaciones específicas (por ejemplo, jugadoras de élite). La tercera limitación está relacionada con el diseño seleccionado para este estudio. Se ha comparado 3 protocolos de entrenamiento sin la participación de un grupo de control.

9 . APLICACIONES PRÁCTICAS

La aplicación práctica que se plantea después de la segunda investigación experimental actual es que los jugadores jóvenes de fútbol pueden incrementar su rendimiento en salto, sprint y agilidad después de realizar un programa de entrenamiento de 6 semanas basado en el entrenamiento pliométrico combinado con velocidad, cambio de dirección y con o sin fuerza donde se incluyen ejercicios de tren inferior (saltos verticales, horizontales y laterales, bilaterales y unilaterales, salidas de velocidad de diferentes metros para trabajar aceleración y velocidad máxima y diferentes cambios de dirección en función de diferentes ángulos). Las mejoras obtenidas son interesantes para los preparadores físicos y deportistas, puesto que el resultado del partido va a venir en muchas ocasiones ocasionado por acciones de máxima intensidad como son los saltos, sprints y cambios de dirección. Por otra parte, es importante crear una fase inicial de adaptación donde se enseña a los deportistas jóvenes las mecánicas de movimiento, antes de progresar en cargas y complejidad, asegurando una correcta ejecución de la técnica en las fases posteriores del desarrollo de dichas habilidades. Los resultados pueden servir a los entrenadores y científicos del deporte para formular mejores directrices y recomendaciones para la evaluación del atleta y su selección, prescripción del entrenamiento y el seguimiento y la preparación para la competición. Estas mejoras pueden ser beneficiosas para conseguir jugadores más competitivos y transferirlo en el rendimiento de los partidos.

Después de analizar el primer estudio experimental las aplicaciones prácticas son similares a las obtenidas en el otro estudio. Donde se observa que la misma combinación de pliometría más velocidad y cambios de dirección utilizando el mismo volumen y frecuencia también es efectivo para implementar en jugadoras de futbol de nivel semiprofesional, puesto que se han observado mejoras significativas, y debido a que el propósito del programa es optimizar el tiempo, es un programa perfectamente aplicable en cualquier equipo no profesional, donde el tiempo y el material son más escasos, puesto que es efectivo para la mejora de todas las variables analizadas.

Después de analizar los metaanálisis podemos sacar como aplicaciones prácticas que el entrenamiento de fuerza combinado es eficaz para mejorar la altura del salto vertical, la velocidad y la fuerza en sentadilla en participantes sanos y en atletas. Por lo que hay evidencia suficiente para recomendar su implementación dentro de una sesión de entrenamiento por parte de los preparadores físicos. Sin embargo, actualmente no está

claro el papel que desempeñan las posibles variables moderadoras, como la frecuencia, la duración o el número total de sesiones, ni las relaciones dosis-respuesta específicas tras el entrenamiento combinado, especialmente a largo plazo. Por lo que no se puede recomendar una aplicación práctica muy específica por el momento, hay que seguir investigando al respecto para poder obtener conclusiones más concisas.

10 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La presente Tesis Doctoral incluye cuatro artículos que simplemente forman parte de una nueva línea de investigación que todavía está por desarrollar para poder llegar a optimizar el rendimiento en acciones de máxima intensidad en deportes de equipo e individuales donde estas acciones son fundamentales para el resultado final.

Los resultados obtenidos sobre todo en los metaanálisis confirman que la combinación de pliometría con otras metodologías es un método efectivo para la mejora del rendimiento, por lo que hay que continuar investigando todas las cuestiones que todavía no han sido resueltas acerca de la combinación de metodologías como método de entrenamiento efectivo para utilizar dentro de una sesión de entrenamiento. De esta forma para seguir una tendencia continuista, que permita avanzar hacia futuros conocimientos, se proponen, por tanto, las siguientes líneas futuras de trabajo:

- En primer lugar, a pesar de que se ha obtenido una tendencia positiva en los estudios analizados en ambos metaanálisis, la cantidad de estudios que combinan pliometría con fuerza es mucho mayor que las demás combinaciones, por lo que se necesitan más estudios que analicen diferentes combinaciones para poder realizar con más estudios en las diferentes combinaciones.
- Puede resultar interesante realizar un análisis más exhaustivo de las diferentes variables utilizados dentro de cada método, es decir, analizando la intensidad, volumen, frecuencia etc. para poder entender mejor como pueden verse afectadas las diferentes combinaciones por las diferentes variables.
- En segundo lugar, es necesario realizar más estudios experimentales para las diferentes poblaciones. Los resultados obtenidos mayoritariamente son en hombres y fútbol, por lo que es necesario realizar más estudios que permitan extrapolar los datos a cada deporte o población.
- Por último, se debería de intentar crear protocolos de entrenamiento similares, puesto que las diferencias metodológicas entre los diferentes estudios son muy grandes siendo una limitación para los resultados obtenidos, futuros estudios deben llevar una misma línea de investigación para poder realizar una

comparación más exhaustiva.

11 BIBLIOGRAFÍA

1. Aagaard, P, Simonsen, EB, Andersen, JL, Magnusson, P, and Dyhre-Poulsen, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 93: 1318–1326, 2002.
2. Adams, K, O’Shea, JP, O’Shea, KL, and Climstein, M. The Effect of Six Weeks of Squat, Plyometric and Squat-Plyometric Training on Power Production. *J Strength Cond Res* 6: 36–41, 1992.
3. Alcaraz, PE, Carlos-Vivas, J, Oponjuru, BO, and Martínez-Rodríguez, A. The Effectiveness of Resisted Sled Training (RST) for Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ* 48: 2143–2165, 2018.
4. Alcaraz, PE, Elvira, JLL, and Palao, JM. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand J Med Sci Sports* 24: 279–290, 2014.
5. Alcaraz, PE, Palao, JM, and Elvira, JLL. Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res* 23: 480–485, 2009.
6. Alcaraz, PE, Palao, JM, Elvira, JLL, and Linthorne, NP. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res* 22: 890–897, 2008.
7. Alexander, R. Mechanics of Skeleton and Tendons. In: (Vol. 2).2011.
8. Ali, K, Verma, S, Ahmad, I, et al. Comparison of Complex Versus Contrast Training on Steroid Hormones and Sports Performance in Male Soccer Players. *J Chiropr Med* 18: 131–138, 2019.
9. Aloui, G, Hermassi, S, Hayes, LD, et al. Loaded Plyometrics and Short Sprints with Change-of-Direction Training Enhance Jumping, Sprinting, Agility, and Balance Performance of Male Soccer Players. *Appl Sci* 11: 5587, 2021.
10. Alvarez, M, Sedano, S, Cuadrado, G, and Redondo, JC. Effects of an 18-week strength training program on low-handicap golfers’ performance. *J Strength Cond Res* 26: 1110–1121, 2012.
11. Andersen, LL, Andersen, JL, Magnusson, SP, et al. Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 99: 87–94, 2005.
12. Angelozzi, M, Madama, M, Corsica, C, et al. Rate of force development as an adjunctive outcome measure for return-to-sport decisions after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 42: 772–780, 2012.
13. Arabatzi, F, Kellis, E, and Sáez-Sáez De Villarreal, E. Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *J Strength Cond Res* 24: 2440–2448, 2010.
14. Aragon-Vargas, LF and Gross, MM. Kinesiological factors in vertical jump performance: Differences within individuals. *Occup Health Ind Med* 6: 287, 1997.
15. Arede, J, Vaz, R, Franceschi, A, Gonzalo-Skok, O, and Leite, N. Effects of a combined strength and conditioning training program on physical abilities in adolescent male basketball players. *J Sports Med Phys Fitness* 59: 1298–1305, 2019.
16. Arnason, A, Sigurdsson, SB, Gudmundsson, A, et al. Physical Fitness, Injuries, and Team Performance in Soccer. *Med Sci Sports Exerc* 36: 278–285, 2004.
17. Asadi, A, Arazi, H, Young, WB, and Sáez de Villarreal, E. The Effects of Plyometric Training on Change-of-Direction Ability: A Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 563–573, 2016.
18. Asadi, A, Ramirez-Campillo, R, Arazi, H, and Sáez de Villarreal, E. The effects of maturation on jumping ability and sprint adaptations to plyometric training in youth soccer players. *J Sports Sci* 36: 2405–2411, 2018.

19. Askling, C, Karlsson, J, and Thorstensson, A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports* 13: 244–250, 2003.
20. Badillo, JJG and Serna, JR. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. INDE, 2002.
21. Baker, D. Acute and long-term power responses to power training: Observations on the training of an elite power athlete. *Strength Cond J* 23: 47–56, 2001.
22. Bauer, P, Uebellacker, F, Mitter, B, 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* 22: 838–851, 2019.
23. Baylor, SM and Hollingworth, S. Fura-2 calcium transients in frog skeletal muscle fibres. *J Physiol* 403: 151–192, 1988.
24. Beato, M, Bianchi, M, Coratella, G, Merlini, M, and Drust, B. Effects of Plyometric and Directional Training on Speed and Jump Performance in Elite Youth Soccer Players. *J Strength Cond Res* 32: 289–296, 2018.
25. Beaven, CM, Gill, ND, Ingram, JR, and Hopkins, WG. Acute salivary hormone responses to complex exercise bouts. *J Strength Cond Res* 25: 1072–1078, 2011.
26. Bedoya, AA, Miltenberger, MR, and Lopez, RM. Plyometric Training Effects on Athletic Performance in Youth Soccer Athletes: A Systematic Review. *J Strength Cond Res* 29: 2351–2360, 2015.
27. Behm, DG and Sale, DG. Velocity specificity of resistance training. *Sports Med Auckl NZ* 15: 374–388, 1993.
28. Behrens, M, Mau-Moeller, A, Mueller, K, et al. Plyometric training improves voluntary activation and strength during isometric, concentric and eccentric contractions. *J Sci Med Sport* 19: 170–176, 2016.
29. Behringer, M, Vom Heede, A, Yue, Z, and Mester, J. Effects of resistance training in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatrics* 126: e1199-1210, 2010.
30. Benton, MJ, Kasper, MJ, Raab, SA, Waggener, GT, and Swan, PD. Short-term effects of resistance training frequency on body composition and strength in middle-aged women. *J Strength Cond Res* 25: 3142–3149, 2011.
31. Billot, M, Martin, A, Paizis, C, Cometti, C, and Babault, N. Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 1407–1413, 2010.
32. Bobbert, MF. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med Auckl NZ* 9: 7–22, 1990.
33. Bojsen-Møller, J, Magnusson, SP, Rasmussen, LR, Kjaer, M, and Aagaard, P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 99: 986–994, 2005.
34. Bosco, C. La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Paidotribo, 1994 [cited 2022 Oct 13]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=149322>
35. Bosco, C and Komi, PV. Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand* 106: 467–472, 1979.
36. Bosco, C, Luhtanen, P, and Komi, PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* 50: 273–282, 1983.
37. Bosco, C, Viitasalo, JT, Komi, PV, and Luhtanen, P. Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 114: 557–565, 1982.
38. Bottinelli, R, Canepari, M, Pellegrino, MA, and Reggiani, C. Force-velocity

- properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *J Physiol* 495 (Pt 2): 573–586, 1996.
39. Bouteraa, I, Negra, Y, Shephard, RJ, and Chelly, MS. Effects of Combined Balance and Plyometric Training on Athletic Performance in Female Basketball Players. *J Strength Cond Res* 34: 1967–1973, 2020.
40. Brazell-Roberts, JV and Thomas, LE. Effects of Weight Training Frequency on the Self-concept of College Females. *J Strength Cond Res* 3: 40–43, 1989.
41. Brown, ME, Mayhew, JL, and Boleach, LW. Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *J Sports Med Phys Fitness* 26: 1–4, 1986.
42. Buchheit, M, Mendez-Villanueva, A, Delhomel, G, Brughelli, M, and Ahmaidi, S. Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *J Strength Cond Res* 24: 2715–2722, 2010.
43. Buchthal, F and Schmalbruch, H. Contraction times and fibre types in intact human muscle. *Acta Physiol Scand* 79: 435–452, 1970.
44. Carroll, TJ, Abernethy, PJ, Logan, PA, Barber, M, and McEniery, MT. Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol* 78: 270–275, 1998.
45. Carter, J and Greenwood, M. Complex Training Reexamined: Review and Recommendations to Improve Strength and Power. *Strength Cond J* 36: 11–19, 2014.
46. Caruso, JF and Hernandez, DA. Net caloric cost of a 3-set flywheel ergometer resistance exercise paradigm. *J Strength Cond Res* 16: 567–572, 2002.
47. Cavaco, B, Sousa, N, Dos Reis, VM, et al. Short-term effects of complex training on agility with the ball, speed, efficiency of crossing and shooting in youth soccer players. *J Hum Kinet* 43: 105–112, 2014.
48. Cavagna, GA, Dusman, B, and Margaria, R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol* 24: 21–32, 1968.
49. Chaouachi, A, Ben Othman, A, Hammami, R, Drinkwater, EJ, and Behm, DG. The Combination of Plyometric and Balance Training Improves Sprint and Shuttle Run Performances More Often Than Plyometric-Only Training with Children. *J Strength Cond Res* 28: 401–412, 2014.
50. Chelly, MS, Chérif, N, Amar, MB, et al. Relationships of peak leg power, 1 maximal repetition half back squat, and leg muscle volume to 5-m sprint performance of junior soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 266–271, 2010.
51. Chimera, NJ, Swanik, KA, Swanik, CB, and Straub, SJ. Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes. *J Athl Train* 39: 24–31, 2004.
52. Cissik, JM. Means and Methods of Speed Training, Part I. *Strength Cond J* 26: 24–29, 2004.
53. Clark, KP, Stearne, DJ, Walts, CT, and Miller, AD. The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sleds vs. weighted vests. *J Strength Cond Res* 24: 3287–3295, 2010.
54. Clark, KP and Weyand, PG. Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *J Appl Physiol Bethesda Md* 117: 604–615, 2014.
55. Close, RI. Dynamic properties of mammalian skeletal muscles. *Physiol Rev* 52: 129–197, 1972.
56. Clutch, D, Wilton, M, McGown, C, and Bryce, GR. The Effect of Depth Jumps and Weight Training on Leg Strength and Vertical Jump. *Res Q Exerc Sport* 54: 5–10, 1983.
57. Colquhoun, RJ, Gai, CM, Aguilar, D, et al. Training Volume, Not Frequency,

- Indicative of Maximal Strength Adaptations to Resistance Training. *J Strength Cond Res* 32: 1207–1213, 2018.
58. Coratella, G, Beato, M, and Schena, F. The specificity of the Loughborough Intermittent Shuttle Test for recreational soccer players is independent of their intermittent running ability. *Res Sports Med Print* 24: 363–374, 2016.
59. Cormie, P, McBride, JM, and McCaulley, GO. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *J Strength Cond Res* 23: 177–186, 2009.
60. Cormie, P, McCaulley, GO, Triplett, NT, and McBride, JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc* 39: 340–349, 2007.
61. Cormie, P, McGuigan, MR, and Newton, RU. Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Med* 41: 125–146, 2011.
62. Cormier, P, Freitas, TT, Rubio-Arias, JÁ, and 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* 34: 1461–1479, 2020.
63. Costill, DL, Daniels, J, Evans, W, et al. Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol* 40: 149–154, 1976.
64. Crameri, RM, Aagaard, P, Qvortrup, K, et al. Myofibre damage in human skeletal muscle: effects of electrical stimulation versus voluntary contraction. *J Physiol* 583: 365–380, 2007.
65. Cronin, J, Hansen, K, Kawamori, N, and McNair, P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech* 7: 160–172, 2008.
66. Cronin, J, McNair, PJ, and Marshall, RN. Velocity specificity, combination training and sport specific tasks. *J Sci Med Sport* 4: 168–178, 2001.
67. Cronin, JB, Brughelli, M, Gamble, P, Brown, SR, and Mckenzie, C. Acute kinematic and kinetic augmentation in horizontal jump performance using haltere type handheld loading. *J Strength Cond Res* 28: 1559–1564, 2014.
68. Cross, MR, Brughelli, ME, and Cronin, JB. Effects of vest loading on sprint kinetics and kinematics. *J Strength Cond Res* 28: 1867–1874, 2014.
69. Cumpston, M, Li, T, Page, MJ, et al. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *Cochrane Database Syst Rev* 10: ED000142, 2019.
70. Datson, N, Hulton, A, Andersson, H, et al. Applied physiology of female soccer: an update. *Sports Med Auckl NZ* 44: 1225–1240, 2014.
71. Davies, G, Riemann, BL, and Manske, R. Current concepts of plyometric exercise. *Int J Sports Phys Ther* 10: 760–786, 2015.
72. Dawes, J and Lentz, D. Methods of Developing Power to Improve Acceleration for the Non-Track Athlete. *Strength Cond J* 34: 44–51, 2012.
73. Deeks, JJ, Higgins, JP, and Altman, DG. Analysing Data and Undertaking Meta-Analyses. In: *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Higgins, JP and Green, S, eds. . Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2008 [cited 2022 Jun 16]. pp. 243–296 Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470712184.ch9>
74. Del Vecchio, A, Negro, F, Holobar, A, et al. You are as fast as your motor neurons: speed of recruitment and maximal discharge of motor neurons determine the maximal rate of force development in humans. *J Physiol* 597: 2445–2456, 2019.
75. Delecluse, C. Influence of strength training on sprint running performance. Current findings and implications for training. *Sports Med Auckl NZ* 24: 147–156, 1997.

76. Desmedt, JE and Godaux, E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol* 264: 673–693, 1977.
77. DeWall, RJ, Slane, LC, Lee, KS, and Thelen, DG. Spatial variations in Achilles tendon shear wave speed. *J Biomech* 47: 2685–2692, 2014.
78. DeWeese, B, Bellon, C, Magrum, E, Taber, C, and Suchomel, T. Strengthening the Springs: Improving Sprint Performance via Strength. *Track Tech* 8–20, 2016.
79. Diallo, O, Dore, E, Duche, P, and Van Praagh, E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 41: 342–348, 2001.
80. Dos'Santos, T, Thomas, C, Jones, PA, and Comfort, P. Mechanical Determinants of Faster Change of Direction Speed Performance in Male Athletes. *J Strength Cond Res* 31: 696–705, 2017.
81. Driss, T, Vandewalle, H, and Monod, H. Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. Correlation with the vertical jump test. *J Sports Med Phys Fitness* 38: 286–293, 1998.
82. Duchateau, J and Baudry, S. Maximal discharge rate of motor units determines the maximal rate of force development during ballistic contractions in human. *Front Hum Neurosci* 8: 234, 2014.
83. Duchateau, J and Enoka, RM. Human motor unit recordings: origins and insight into the integrated motor system. *Brain Res* 1409: 42–61, 2011.
84. Duchateau, J, Semmler, JG, and Enoka, RM. Training adaptations in the behavior of human motor units. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985* 101: 1766–1775, 2006.
85. Duval, S and Tweedie, R. Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics* 56: 455–463, 2000.
86. Egger, M, Davey Smith, G, Schneider, M, and Minder, C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ* 315: 629–634, 1997.
87. Elliott, BC, Wilson, GJ, and Kerr, GK. A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Med Sci Sports Exerc* 21: 450–462, 1989.
88. Enoka, RM and Duchateau, J. Inappropriate interpretation of surface EMG signals and muscle fiber characteristics impedes understanding of the control of neuromuscular function. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985* 119: 1516–1518, 2015.
89. Ettema, GJ, van Soest, AJ, and Huijting, PA. The role of series elastic structures in prestretch-induced work enhancement during isotonic and isokinetic contractions. *J Exp Biol* 154: 121–136, 1990.
90. Faccioni, A. Assisted and resisted methods for speed development (part 1)., 2007. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assisted-and-resisted-methods-for-speed-development-Faccioni/1760275b35fb2257c3271ed1ab9de37889604cd9>
91. Faigenbaum, AD, McFarland, JE, Keiper, FB, et al. Effects of a Short-Term Plyometric and Resistance Training Program on Fitness Performance in Boys Age 12 to 15 Years. *J Sports Sci Med* 6: 519–525, 2007.
92. Fajardo, JT. Nuevas tendencias en fuerza y musculación. Editorial Hispano Europea, 1999.
93. Falces, M, Floria, P, Sáez de Villarreal, E, et al. Reproducibilidad de un protocolo de pliometría en jugadores jóvenes de fútbol. , 2018.
94. Farina, D and Negro, F. Common synaptic input to motor neurons, motor unit synchronization, and force control. *Exerc Sport Sci Rev* 43: 23–33, 2015.

95. Fathi, A, Hammami, R, Moran, J, et al. 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* 33: 2117–2127, 2019.
96. Fatouros, IG, Jamurtas, AZ, Leontsini, D, et al. Evaluation of Plyometric Exercise Training, Weight Training, and Their Combination on Vertical Jumping Performance and Leg Strength. *J Strength Cond Res* 14: 470–476, 2000.
97. Faude, O, Koch, T, and Meyer, T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 30: 625–631, 2012.
98. Faude, O, Roth, R, Di Giovine, D, Zahner, L, and Donath, L. Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: a randomised-controlled trial. *J Sports Sci* 31: 1460–1467, 2013.
99. Fleck, J, Steven and Kraemer, W. Designing Resistance Training Programs, 4E. Human Kinetics, 2014.
100. Floría, P, Sánchez-Sixto, A, and Harrison, AJ. Application of the principal component waveform analysis to identify improvements in vertical jump performance. *J Sports Sci* 37: 370–377, 2019.
101. Folland, JP and Williams, AG. Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. *Sports Med* 37: 145–168, 2007.
102. Franco-Márquez, F, Rodríguez-Rosell, D, González-Suárez, JM, et al. Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *Int J Sports Med* 36: 906–914, 2015.
103. Freitas, TT, Martinez-Rodriguez, A, Calleja-González, J, and Alcaraz, PE. Short-term adaptations following Complex Training in team-sports: A meta-analysis. *PloS One* 12: e0180223, 2017.
104. Friedmann, B, Kinscherf, R, Vorwald, S, et al. Muscular adaptations to computer-guided strength training with eccentric overload. *Acta Physiol Scand* 182: 77–88, 2004.
105. Fry, A, Kraemer, W, Weseman, C, et al. The Effects of an Off-season Strength and Conditioning Program on Starters and Non-starters in Women’s Intercollegiate Volleyball. , 1991.
106. Fry, AC, Schilling, BK, Staron, RS, et al. Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J Strength Cond Res* 17: 746–754, 2003.
107. García-Pinillos, F, Martínez-Amat, A, Hita-Contreras, F, Martínez-López, EJ, and Latorre-Román, PA. Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility of young soccer players. *J Strength Cond Res* 28: 2452–2460, 2014.
108. Garhammer, J and Gregor, R. Propulsion forces as a function of intensity for weightlifting and vertical jumping. *J Strength Amp Cond ...* , 1992. Available from: https://www.academia.edu/3325284/Propulsion_forces_as_a_function_of_intensity_for_weightlifting_and_vertical_jumping
109. Gissis, I, Papadopoulos, C, Kalapotharakos, VI, et al. Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Res Sports Med Print* 14: 205–214, 2006.
110. Gołaś, A, Maszczyk, A, Zajac, A, Mikołajec, K, and Stastny, P. Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *J Hum Kinet* 52: 95–106, 2016.
111. Gollhofer, A and Kyröläinen, H. Neuromuscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. *Int J Sports Med* 12: 34–40, 1991.

112. Gollnick, PD, Armstrong, RB, Saubert, CW, Piehl, K, and Saltin, B. Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol* 33: 312–319, 1972.
113. González-Badillo, JJ, Gorostiaga, EM, Arellano, R, and Izquierdo, M. Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res* 19: 689–697, 2005.
114. González-Badillo, JJ, Izquierdo, M, and Gorostiaga, EM. Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res* 20: 73–81, 2006.
115. Granit, R, Kernell, D, and Shortess, GK. Quantitative aspects of repetitive firing of mammalian motoneurons, caused by injected currents. *J Physiol* 168: 911–931, 1963.
116. Graves, JE, Pollock, ML, Leggett, SH, et al. Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int J Sports Med* 9: 316–319, 1988.
117. Grgic, J, Schoenfeld, BJ, and Mikulic, P. Effects of plyometric vs. resistance training on skeletal muscle hypertrophy: A review. *J Sport Health Sci* 10: 530–536, 2021.
118. Griffin, L and Cafarelli, E. Resistance training: cortical, spinal, and motor unit adaptations. *Can J Appl Physiol Rev Can Physiol Appl* 30: 328–340, 2005.
119. Guadalupe-Grau, A, Perez-Gomez, J, Olmedillas, H, et al. Strength training combined with plyometric jumps in adults: sex differences in fat-bone axis adaptations. *J Appl Physiol* 106: 1100–1111, 2009.
120. Hackett, D, Davies, T, Soomro, N, and Halaki, M. Olympic weightlifting training improves vertical jump height in sportspeople: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 50: 865–872, 2016.
121. Haff, GG and Nimphius, S. Training Principles for Power. *Strength Cond J* 34: 2–12, 2012.
122. Haff, GG and Stone, MH. Methods of Developing Power With Special Reference to Football Players. *Strength Cond J* 37: 2–16, 2015.
123. Hahn, E. Entrenamiento con niños. Martínez Roca, 1988 [cited 2022 Oct 23]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=93130>
124. Häkkinen, K. Neuromuscular fatigue in males and females during strenuous heavy resistance loading. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 34: 205–214, 1994.
125. Häkkinen, K, Alén, M, and Komi, PV. Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur J Appl Physiol* 53: 97–105, 1984.
126. Häkkinen, K, Alén, M, and Komi, PV. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand* 125: 573–585, 1985.
127. Häkkinen, K and Kallinen, M. Distribution of strength training volume into one or two daily sessions and neuromuscular adaptations in female athletes. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 34: 117–124, 1994.
128. Häkkinen, K, Kallinen, M, Izquierdo, M, et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 84: 1341–1349, 1998.
129. Häkkinen, K, Komi, PV, and Kauhanen, H. Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. *Int J Sports Med* 7: 144–151, 1986.
130. Häkkinen, K, Pakarinen, A, Alén, M, Kauhanen, H, and Komi, PV.

- Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *Eur J Appl Physiol* 57: 133–139, 1988.
131. Hammami, M, Gaamouri, N, Aloui, G, Shephard, RJ, and Chelly, MS. Effects of Combined Plyometric and Short Sprint With Change-of-Direction Training on Athletic Performance of Male U15 Handball Players. *J Strength Cond Res* 33: 662–675, 2019.
132. Hammami, M, Gaamouri, N, Shephard, RJ, and Chelly, MS. Effects of Contrast Strength vs. Plyometric Training on Lower-Limb Explosive Performance, Ability to Change Direction and Neuromuscular Adaptation in Soccer Players. *J Strength Cond Res* 33: 2094–2103, 2019.
133. Hammami, M, Gaamouri, N, Suzuki, K, et al. Effects of Unloaded vs. Ankle-Loaded Plyometric Training on the Physical Fitness of U-17 Male Soccer Players. *Int J Environ Res Public Health* 17: E7877, 2020.
134. Hammami, M, Negra, Y, Aouadi, R, Shephard, RJ, and Chelly, MS. Effects of an In-season Plyometric Training Program on Repeated Change of Direction and Sprint Performance in the Junior Soccer Player. *J Strength Cond Res* 30: 3312–3320, 2016.
135. Hammett, JB and Hey, WT. Neuromuscular adaptation to short-term (4 weeks) ballistic training in trained high school athletes. *J Strength Cond Res* 17: 556–560, 2003.
136. Harridge, SD, Bottinelli, R, Canepari, M, et al. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflugers Arch* 432: 913–920, 1996.
137. Harrison, AJ and Bourke, G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res* 23: 275–283, 2009.
138. Hather, BM, Tesch, PA, Buchanan, P, and Dudley, GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand* 143: 177–185, 1991.
139. Hatze, H. Validity and Reliability of Methods for Testing Vertical Jumping Performance. *J Appl Biomech* 14, 1998. Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jab/14/2/article-p127.xml>
140. Haugen, T, Seiler, S, Sandbakk, Ø, and Tønnessen, E. The Training and Development of Elite Sprint Performance: an Integration of Scientific and Best Practice Literature. *Sports Med - Open* 5: 44, 2019.
141. Haugen, T, Tønnessen, E, Hisdal, J, and Seiler, S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 432–441, 2014.
142. Haugen, TA, Tønnessen, E, and Seiler, S. Speed and countermovement-jump characteristics of elite female soccer players, 1995-2010. *Int J Sports Physiol Perform* 7: 340–349, 2012.
143. Haugen, TA, Tønnessen, E, and Seiler, S. Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995-2010. *Int J Sports Physiol Perform* 8: 148–156, 2013.
144. Haugen, TA, Tønnessen, E, and Seiler, SK. The difference is in the start: impact of timing and start procedure on sprint running performance. *J Strength Cond Res* 26: 473–479, 2012.
145. Henneman, E, Somjen, G, and Carpenter, DO. Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *J Neurophysiol* 28: 599–620, 1965.
146. Herrero, AJ, Martín, J, Martín, T, et al. Short-term effect of plyometrics and strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance: A randomized controlled trial. Part II. *J Strength Cond Res* 24: 1616–1622, 2010.
147. Hewett, TE, Stroupe, AL, Nance, TA, and Noyes, FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports*

Med 24: 765–773, 1996.

148. Higgins, JPT, Altman, DG, Gøtzsche, PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 343: d5928, 2011.

149. Higgins, JPT and Thompson, SG. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med* 21: 1539–1558, 2002.

150. van de Hoef, PA, Brauers, JJ, van Smeden, M, Backx, FJG, and Brink, MS. The Effects of Lower-Extremity Plyometric Training on Soccer-Specific Outcomes in Adult Male Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform* 1–15, 2019.

151. Hoff, J. Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sports Sci* 23: 573–582, 2005.

152. Hoff, J, Gran, A, and Helgerud, J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 12: 288–295, 2002.

153. Hoff, J and Helgerud, J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med Auckl NZ* 34: 165–180, 2004.

154. Hoffman, JR, Kraemer, WJ, Fry, AC, Deschenes, M, and Kemp, M. The Effects of Self-selection for Frequency of Training in a Winter Conditioning Program for Football. *J Strength Cond Res* 4: 76–82, 1990.

155. Hopkins, WG, Marshall, SW, Batterham, AM, and Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3–13, 2009.

156. Hori, N, Newton, RU, Nosaka, K, and Stone, MH. Weightlifting Exercises Enhance Athletic Performance That Requires High-Load Speed Strength. *Strength Cond J* 27: 50–55, 2005.

157. de Hoyo, M, Pozzo, M, Sañudo, B, et al. Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 10: 46–52, 2015.

158. de Hoyo, M, de la Torre, A, Pradas, F, et al. Effects of eccentric overload bout on change of direction and performance in soccer players. *Int J Sports Med* 36: 308–314, 2015.

159. Hrysomallis, C. The effectiveness of resisted movement training on sprinting and jumping performance. *J Strength Cond Res* 26: 299–306, 2012.

160. Hunter, JP and Marshall, RN. Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. *Med Sci Sports Exerc* 34: 478–486, 2002.

161. van Ingen Schenau, GJ, Bobbert, MF, and de Haan, A. Mechanics and energetics of the stretch-shortening cycle: a stimulating discussion. *J Appl Biomech* 13: 484–496, 1997.

162. Izquierdo, MR. *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte / Biomechanics and Neuromuscular Bases of Physical Activity and Sport*. Ed. Médica Panamericana, 2008.

163. Jansson, E, Esbjörnsson, M, Holm, I, and Jacobs, I. Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiol Scand* 140: 359–363, 1990.

164. Jenkins, NDM, Housh, TJ, Traylor, DA, et al. The rate of torque development: a unique, non-invasive indicator of eccentric-induced muscle damage? *Int J Sports Med* 35: 1190–1195, 2014.

165. Jiménez-Reyes, P, Garcia-Ramos, A, Párraga-Montilla, JA, et al. Seasonal Changes in the Sprint Acceleration Force-Velocity Profile of Elite Male Soccer Players. *J Strength Cond Res* 36: 70–74, 2022.

166. Jiménez-Reyes, P, Samozino, P, Brughelli, M, and Morin, J-B. Effectiveness of

- an Individualized Training Based on Force-Velocity Profiling during Jumping. *Front Physiol* 7: 677, 2016.
167. Jiménez-Reyes, P, Samozino, P, and Morin, J-B. Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS One* 14: e0216681, 2019.
168. Johnson, MA, Polgar, J, Weightman, D, and Appleton, D. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J Neurol Sci* 18: 111–129, 1973.
169. Kaneko, M. Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand J Sports Sci* 5: 50–55, 1983.
170. Kaplan, T, Erkmén, N, and Taskin, H. The evaluation of the running speed and agility performance in professional and amateur soccer players. *J Strength Cond Res* 23: 774–778, 2009.
171. Kawamori, N, Crum, AJ, Blumert, PA, et al. Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean: identification of the optimal load. *J Strength Cond Res* 19: 698–708, 2005.
172. Kibele, A. Technical note. Possible errors in the comparative evaluation of drop jumps from different heights. *Ergonomics* 42: 1011–1014, 1999.
173. Kijowski, KN, Capps, CR, Goodman, CL, et al. Short-Term Resistance and Plyometric Training Improves Eccentric Phase Kinetics in Jumping. *J Strength Cond Res* 29: 2186–2196, 2015.
174. Klass, M, Baudry, S, and Duchateau, J. Age-related decline in rate of torque development is accompanied by lower maximal motor unit discharge frequency during fast contractions. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 104: 739–746, 2008.
175. Kobal, R, Pereira, LA, Zanetti, V, Ramirez-Campillo, R, and Loturco, I. Effects of Unloaded vs. Loaded Plyometrics on Speed and Power Performance of Elite Young Soccer Players. *Front Physiol* 8: 742, 2017.
176. Komi, P and Gollhofer, A. Stretch Reflexes Can Have an Important Role in Force Enhancement during SSC Exercise. *J Appl Biomech* 13: 451–460, 1997.
177. Komi, PV. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exerc Sport Sci Rev* 12: 81–121, 1984.
178. Komi, PV. Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *Int J Sports Med* 7 Suppl 1: 10–15, 1986.
179. Kontopantelis, E, Springate, DA, and Reeves, D. A Re-Analysis of the Cochrane Library Data: The Dangers of Unobserved Heterogeneity in Meta-Analyses. *PLOS ONE* 8: e69930, 2013.
180. Kotzamanidis, C, Chatzopoulos, D, Michailidis, C, Papaikovou, G, and Patikas, D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res* 19: 369–375, 2005.
181. Kraemer, W and Newton, R. Training for improved vertical jump. *Sports Sci Exch* 7: 1–12, 1994.
182. Kraemer, WJ and Newton, RU. Training for muscular power. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 11: 341–368, vii, 2000.
183. Kraemer, WJ, Noble, BJ, Clark, MJ, and Culver, BW. Physiologic Responses to Heavy-Resistance Exercise with Very Short Rest Periods*. *Int J Sports Med* 08: 247–252, 1987.
184. Kraemer, WJ, Ratamess, NA, and French, DN. Resistance Training for Health and Performance. *Curr Sports Med Rep* 1: 165–171, 2002.
185. Kubo, K, Ishida, Y, Suzuki, S, et al. Effects of 6 months of walking training on

- lower limb muscle and tendon in elderly. *Scand J Med Sci Sports* 18: 31–39, 2008.
186. Kubo, K, Kanehisa, H, Kawakami, Y, and Fukunaga, T. Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. *Acta Physiol Scand* 168: 327–335, 2000.
187. Larsson, L and Ansved, T. Effects of long-term physical training and detraining on enzyme histochemical and functional skeletal muscle characteristic in man. *Muscle Nerve* 8: 714–722, 1985.
188. Lee, DK, In, J, and Lee, S. Standard deviation and standard error of the mean. *Korean J Anesthesiol* 68: 220, 2015.
189. Liberati, A, Altman, DG, Tetzlaff, J, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ* 339: b2700, 2009.
190. Lieber, R. Skeletal muscle structure, function, and plasticity. 2022.
191. Lind, AR and Petrofsky, JS. Isometric tension from rotary stimulation of fast and slow cat muscles. *Muscle Nerve* 1: 213–218, 1978.
192. Lloyd, R, Meyers, R, and Oliver, J. The Natural Development and Trainability of Plyometric Ability During Childhood. *Strength Cond J* 33: 23–32, 2011.
193. Lloyd, RS, Oliver, JL, Faigenbaum, AD, et al. Long-term athletic development-part 1: a pathway for all youth. *J Strength Cond Res* 29: 1439–1450, 2015.
194. Lockie, RG, Murphy, AJ, Schultz, AB, Knight, TJ, and 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* 26: 1539–1550, 2012.
195. Lockie, RG, Murphy, AJ, and Spinks, CD. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res* 17: 760–767, 2003.
196. López-Segovia, M, Marques, MC, van den Tillaar, R, and González-Badillo, JJ. Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in u21 soccer players. *J Hum Kinet* 30: 135–144, 2011.
197. Los Arcos, A, Yanci, J, Mendiguchia, J, et al. Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 480–488, 2014.
198. Loturco, I, Pereira, LA, Abad, CCC, et al. Bar velocities capable of optimising the muscle power in strength-power exercises. *J Sports Sci* 35: 734–741, 2017.
199. Luden, N, Minchev, K, Hayes, E, et al. Human vastus lateralis and soleus muscles display divergent cellular contractile properties. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 295: R1593-1598, 2008.
200. Luebbbers, PE, Potteiger, JA, Hulver, MW, et al. Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *J Strength Cond Res* 17: 704–709, 2003.
201. Lyttle, AD, Wilson, GJ, and Ostrowski, KJ. Enhancing Performance: Maximal Power Versus Combined Weights and Plyometrics Training. *J Strength Cond Res* 10: 173–179, 1996.
202. Macaluso, F, Isaacs, AW, Di Felice, V, and Myburgh, KH. Acute change of titin at mid-sarcomere remains despite 8 wk of plyometric training. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 116: 1512–1519, 2014.
203. Macaluso, F, Isaacs, AW, and Myburgh, KH. Preferential type II muscle fiber damage from plyometric exercise. *J Athl Train* 47: 414–420, 2012.
204. Maffiuletti, NA, Aagaard, P, Blazevich, AJ, et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol* 116: 1091–1116, 2016.
205. Maffiuletti, NA, Bizzini, M, Widler, K, and Munzinger, U. Asymmetry in

- quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA. *Clin Orthop* 468: 191–198, 2010.
206. Maffiuletti, NA, Dugnani, S, Folz, M, Di Pierno, E, and Mauro, F. Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1638–1644, 2002.
207. Magyarosy, I and Schnizer, W. [Muscle training by electrostimulation]. *Fortschr Med* 108: 121–124, 1990.
208. Makhlof, I, Chaouachi, A, Chaouachi, M, et al. Combination of Agility and Plyometric Training Provides Similar Training Benefits as Combined Balance and Plyometric Training in Young Soccer Players. *Front Physiol* 9: 1611, 2018.
209. Makhlof, I, Chaouachi, A, Chaouachi, M, et al. Combination of Agility and Plyometric Training Provides Similar Training Benefits as Combined Balance and Plyometric Training in Young Soccer Players. *Front Physiol* 9: 1611, 2018.
210. Mann, RA and Hagy, J. Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am J Sports Med* 8: 345–350, 1980.
211. Markovic, G. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br J Sports Med* 41: 349–355; discussion 355, 2007.
212. Markovic, G, Jukic, I, Milanovic, D, and Metikos, D. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *J Strength Cond Res* 21: 543–549, 2007.
213. Markovic, G and Mikulic, P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med Auckl NZ* 40: 859–895, 2010.
214. Marques, MC, Gil, H, Ramos, RJ, Costa, AM, and Marinho, DA. Relationships Between Vertical Jump Strength Metrics and 5 Meters Sprint Time. *J Hum Kinet* 29: 115–122, 2011.
215. Marques, MC, Pereira, A, Reis, IG, and van den Tillaar, R. Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet* 39: 157–166, 2013.
216. Martinez-Lopez, EJ, Benito-Martinez, E, Hita-Contreras, F, Lara-Sanchez, A, and Martinez-Amat, A. Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *J Sports Sci Med* 11: 727–735, 2012.
217. Matavlj, D, Kukolj, M, Ugarkovic, D, Tihanyi, J, and Jaric, S. Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sports Med Phys Fitness* 41: 159–164, 2001.
218. McBride, JM, Triplett-McBride, T, Davie, A, and Newton, RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res* 16: 75–82, 2002.
219. McCartney, N. Acute responses to resistance training and safety. *Med Sci Sports Exerc* 31: 31–37, 1999.
220. McCartney, N, Heigenhauser, GJ, and Jones, NL. Power output and fatigue of human muscle in maximal cycling exercise. *J Appl Physiol* 55: 218–224, 1983.
221. Mellor, R and Hodges, P. Motor unit synchronization between medial and lateral vasti muscles. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol* 116: 1585–1595, 2005.
222. Mero, A and Komi, PV. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol* 55: 553–561, 1986.
223. Mero, A, Komi, PV, and Gregor, RJ. Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med Auckl NZ* 13: 376–392, 1992.

224. Meylan, C and Malatesta, D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res* 23: 2605–2613, 2009.
225. Michailidis, Y, Fatouros, IG, Primpa, E, et al. Plyometrics' trainability in preadolescent soccer athletes. *J Strength Cond Res* 27: 38–49, 2013.
226. Michailidis, Y, Tabouris, A, and Metaxas, T. Effects of Plyometric and Directional Training on Physical Fitness Parameters in Youth Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform* 14: 392–398, 2019.
227. Michaleff, ZA and Kamper, SJ. Effects of resistance training in children and adolescents: a meta-analysis. *Br J Sports Med* 45: 755, 2011.
228. Milanović, Z, Sporiš, G, Trajković, N, James, N, and Samija, K. Effects of a 12 Week SAQ Training Programme on Agility with and without the Ball among Young Soccer Players. *J Sports Sci Med* 12: 97–103, 2013.
229. Miles, GB, Dai, Y, and Brownstone, RM. Mechanisms underlying the early phase of spike frequency adaptation in mouse spinal motoneurons. *J Physiol* 566: 519–532, 2005.
230. Miller, RG, Mirka, A, and Maxfield, M. Rate of tension development in isometric contractions of a human hand muscle. *Exp Neurol* 73: 267–285, 1981.
231. Milner-Brown, HS and Stein, RB. The relation between the surface electromyogram and muscular force. *J Physiol* 246: 549–569, 1975.
232. Mohr, M, Krstrup, P, and Bangsbo, J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21: 519–528, 2003.
233. Mohr, M, Krstrup, P, and Bangsbo, J. Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci* 23: 593–599, 2005.
234. Moss, BM, Refsnes, PE, Abildgaard, A, Nicolaysen, K, and Jensen, J. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol* 75: 193–199, 1997.
235. Mujika, I, Santisteban, J, and Castagna, C. In-season effect of short-term sprint and power training programs on elite junior soccer players. *J Strength Cond Res* 23: 2581–2587, 2009.
236. Murphy, AJ, Lockie, RG, and Coutts, AJ. Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *J Sports Sci Med* 2: 144–150, 2003.
237. Nagahara, R, Mizutani, M, Matsuo, A, Kanehisa, H, and Fukunaga, T. Association of Sprint Performance With Ground Reaction Forces During Acceleration and Maximal Speed Phases in a Single Sprint. *J Appl Biomech* 34: 104–110, 2018.
238. Nagahara, R, Mizutani, M, Matsuo, A, Kanehisa, H, and Fukunaga, T. Step-to-step spatiotemporal variables and ground reaction forces of intra-individual fastest sprinting in a single session. *J Sports Sci* 36: 1392–1401, 2018.
239. Newton, RU and Kraemer, WJ. Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength Cond J* 16: 20–31, 1994.
240. Newton, RU, Kraemer, WJ, and Häkkinen, K. Kinematics, Kinetics, and Muscle Activation during Explosive Upper Body Movements. *Journal of Applied Biomechanics* 12: 31–43, 1996.
241. Newton, RU, Kraemer, WJ, and Hakkinen, K. Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Med Sci Sports Exerc* 31: 323–330, 1999.
242. Nicol, C and Komi, PV. Significance of passively induced stretch reflexes on achilles tendon force enhancement. *Muscle Nerve* 21: 1546–1548, 1998.

243. Nordez, A, Gallot, T, Catheline, S, et al. Electromechanical delay revisited using very high frame rate ultrasound. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985* 106: 1970–1975, 2009.
244. Núñez, FJ, Santalla, A, Carrasquilla, I, et al. 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* 13: e0193841, 2018.
245. Otero-Esquina, C, de Hoyo Lora, M, Gonzalo-Skok, Ó, Domínguez-Cobo, S, and Sánchez, H. Is strength-training frequency a key factor to develop performance adaptations in young elite soccer players? *Eur J Sport Sci* 17: 1241–1251, 2017.
246. Ozbar, N, Ates, S, and Agopyan, A. The effect of 8-week plyometric training on leg power, jump and sprint performance in female soccer players. *J Strength Cond Res* 28: 2888–2894, 2014.
247. Pardos-Mainer, E, Lozano, D, Torrontegui-Duarte, M, Cartón-Llorente, A, and Roso-Moliner, A. Effects of Strength vs. Plyometric Training Programs on Vertical Jumping, Linear Sprint and Change of Direction Speed Performance in Female Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 18: 401, 2021.
248. Peña-González, I, Fernández-Fernández, J, Cervelló, E, and Moya-Ramón, M. Effect of biological maturation on strength-related adaptations in young soccer players. *PLoS One* 14: e0219355, 2019.
249. Peñailillo, L, Blazevich, A, Numazawa, H, and Nosaka, K. Rate of force development as a measure of muscle damage. *Scand J Med Sci Sports* 25: 417–427, 2015.
250. Perez-Gomez, JP-G, Olmedillas, HO, Delgado-Guerra, SD-G, et al. Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2008. Available from: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/H08-026>
251. Petrakos, G, Morin, J-B, and Egan, B. Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ* 46: 381–400, 2016.
252. Pienaar, C and Coetzee, B. Changes in selected physical, motor performance and anthropometric components of university-level rugby players after one microcycle of a combined rugby conditioning and plyometric training program. *J Strength Cond Res* 27: 398–415, 2013.
253. Plisk, S. Speed, agility, and speed-endurance development. *Essentials of strength training and conditioning*. 2000. pp. 471–91
254. Porrati-Paladino, G and Cuesta-Barriuso, R. Effectiveness of Plyometric and Eccentric Exercise for Jumping and Stability in Female Soccer Players-A Single-Blind, Randomized Controlled Pilot Study. *Int J Environ Res Public Health* 18: 294, 2021.
255. Prieto, MF, Fernández, FTG, Morales, SB, et al. Effects of a strength training program with self loading on countermovement jump performance and body composition in young soccer players. *J Sport Health Res* 12, 2020. Available from: <https://recyt.fecyt.es/index.php/JSHR/article/view/80797>
256. Prieto, MF, González, JR, Sáez, ES de V, et al. Effects of combined plyometric and sled training on vertical jump and linear speed performance in young soccer players. *Retos Nuevas Tend En Educ Física Deporte Recreación* 228–235, 2021.
257. Qi, F, Kong, Z, Xiao, T, et al. Effects of Combined Training on Physical Fitness and Anthropometric Measures among Boys Aged 8 to 12 Years in the Physical Education Setting. *Sustainability* 11: 1219, 2019.
258. Rabita, G, Dorel, S, Slawinski, J, et al. Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scand J Med Sci Sports* 25: 583–

594, 2015.

259. Rack, PM and Westbury, DR. The effects of length and stimulus rate on tension in the isometric cat soleus muscle. *J Physiol* 204: 443–460, 1969.

260. Ramírez-Campillo, R, Gallardo, F, Henríquez-Olguín, 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* 29: 1784–1795, 2015.

261. Ramirez-Campillo, R, Gentil, P, Negra, Y, Grgic, J, and Girard, O. Effects of Plyometric Jump Training on Repeated Sprint Ability in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ* 51: 2165–2179, 2021.

262. Ramirez-Campillo, R, Sanchez-Sanchez, J, Gonzalo-Skok, O, et al. Specific Changes in Young Soccer Player's Fitness After Traditional Bilateral vs. Unilateral Combined Strength and Plyometric Training. *Front Physiol* 9: 265, 2018.

263. Ramirez-Campillo, R, Sanchez-Sanchez, J, Romero-Moraleda, B, et al. Effects of plyometric jump training in female soccer player's vertical jump height: A systematic review with meta-analysis. *J Sports Sci* 38: 1475–1487, 2020.

264. Ramírez-Campillo, R, Vergara-Pedrerros, M, Henríquez-Olguín, C, et al. Effects of plyometric training on maximal-intensity exercise and endurance in male and female soccer players. *J Sports Sci* 34: 687–693, 2016.

265. Ramos, FG and López, JP. Efectos de 8 Semanas de Entrenamiento Pliométrico y Entrenamiento Resistido Mediante Trineo en el Rendimiento de Salto Vertical y Esprint en Futbolistas Amateurs. *Kronos Rev Univ Act Física El Deporte* 15: 6, 2016.

266. Ramos Veliz, R, Requena, B, Suarez-Arrones, L, Newton, RU, and Sáez de Villarreal, E. Effects of 18-week in-season heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *J Strength Cond Res* 28: 1007–1014, 2014.

267. Redondo, JC, Alonso, CJ, Sedano, S, and de Benito, AM. Effects of a 12-week strength training program on experimented fencers' movement time. *J Strength Cond Res* 28: 3375–3384, 2014.

268. Reilly, T, Bangsbo, J, and Franks, A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci* 18: 669–683, 2000.

269. Reilly, T and Williams, AM. Identifying talented players. Routledge, 2003 [cited 2022 Jun 29]. Available from:

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203417553-28/identifying-talented-players-thomas-reilly-mark-williams-dave-richardson>

270. Ribeiro, J, Afonso, J, Camões, M, et al. Methodological Characteristics, Physiological and Physical Effects, and Future Directions for Combined Training in Soccer: A Systematic Review. *Healthcare* 9: 1075, 2021.

271. Robbins, DW. Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *J Strength Cond Res* 19: 453–458, 2005.

272. Rodríguez-Rosell, D, Franco-Márquez, F, Mora-Custodio, R, and González-Badillo, JJ. Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages. *J Strength Cond Res* 31: 2498–2508, 2017.

273. Rodríguez-Rosell, D, Franco-Marquez, F, Pareja-Blanco, F, 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* 11: 240–246, 2016.

274. Rodríguez-Rosell, D, Torres-Torrelo, J, Franco-Marquez, F, Manuel Gonzalez-Suarez, J, and Jose Gonzalez-Badillo, J. 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* 20: 695–699, 2017.
275. Romero-Rodriguez, D, Gual, G, and Tesch, PA. Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: a case-series study. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med* 12: 43–48, 2011.
276. Ronnestad, BR, Kvamme, NH, Sundelund, A, and Raastad, T. Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 22: 773–780, 2008.
277. Rubley, MD, Haase, AC, Holcomb, WR, Girouard, TJ, and Tandy, RD. The effect of plyometric training on power and kicking distance in female adolescent soccer players. *J Strength Cond Res* 25: 129–134, 2011.
278. Rumpf, MC, Cronin, JB, Mohamad, IN, et al. The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *Eur J Sport Sci* 15: 374–381, 2015.
279. Sáez de Villarreal, E, Requena, B, and Cronin, JB. The effects of plyometric training on sprint performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res* 26: 575–584, 2012.
280. Sáez de Villarreal, E, Requena, B, Izquierdo, M, and Jose Gonzalez-Badillo, J. Enhancing sprint and strength performance: Combined versus maximal power, traditional heavy-resistance and plyometric training. *J Sci Med Sport* 16: 146–150, 2013.
281. Sáez de Villarreal, E, Suarez-Arrones, L, Requena, B, Haff, GG, and Ferrete, C. Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *J Strength Cond Res* 29: 1894–1903, 2015.
282. Sáez de Villarreal, E, Suarez-Arrones, L, Requena, B, Haff, GG, and Ferrete, C. Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *J Strength Cond Res* 29: 1894–1903, 2015.
283. Sáez de Villarreal, E, Suarez-Arrones, L, Requena, B, Haff, GG, and Ramos Veliz, R. Enhancing Performance in Professional Water Polo Players: Dryland Training, in-Water Training, and Combined Training. *J Strength Cond Res* 29: 1089–1097, 2015.
284. Sáez de Villarreal, ESS, González-Badillo, JJ, and Izquierdo, M. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *J Strength Cond Res* 22: 715–725, 2008.
285. Sáez de Villarreal, ES-S, Kellis, E, Kraemer, WJ, and Izquierdo, M. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res* 23: 495–506, 2009.
286. Sáez-Sáez de Villarreal, E, Requena, B, and Newton, RU. Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *J Sci Med Sport* 13: 513–522, 2010.
287. Sale, D and MacDougall, D. Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. *Can J Appl Sport Sci J Can Sci Appl Au Sport* 6: 87–92, 1981.
288. Sale, DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20: S135-145, 1988.
289. Sale, DG. Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev* 30: 138–143, 2002.
290. Sale, DG and Komi, PV. Neural Adaptation to Strength Training. In: *Strength and Power in Sport*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 2003 [cited 2022 Oct 7]. pp. 281–314 Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470757215.ch15>
291. Sanchez-Sixto, A, Harrison, AJ, and Floria, P. Effects of Plyometric vs. Combined Plyometric Training on Vertical Jump Biomechanics in Female Basketball

- Players. *J Hum Kinet* 77: 25–35, 2021.
292. Sanchez-Sixto, A, Harrison, AJ, and Floria, P. Effects of Plyometric vs. Combined Plyometric Training on Vertical Jump Biomechanics in Female Basketball Players. *J Hum Kinet* 77: 25–35, 2021.
293. Santos, PDG, Vaz, JR, Correia, PF, et al. Intermuscular Coordination in the Power Clean Exercise: Comparison between Olympic Weightlifters and Untrained Individuals—A Preliminary Study. *Sensors* 21: 1904, 2021.
294. Sawczuk, A, Powers, RK, and Binder, MD. Spike frequency adaptation studied in hypoglossal motoneurons of the rat. *J Neurophysiol* 73: 1799–1810, 1995.
295. Schiaffino, S and Reggiani, C. Molecular diversity of myofibrillar proteins: gene regulation and functional significance. *Physiol Rev* 76: 371–423, 1996.
296. Schilling, BK, Stone, MH, O’Byrant, HS, et al. Snatch technique of collegiate national level weightlifters. *J Strength Cond Res* 16: 551–555, 2002.
297. Schmidt, RA and Lee, TD. Motor control and learning: A behavioral emphasis, 4th ed. Champaign, IL, US: Human Kinetics, 2005.
298. Schmidtbleicher, D and Buhle, M. Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. *Biomech XB Ed Hum Kinet* , 1987.
299. Seitz, LB, Reyes, A, Tran, TT, Saez de Villarreal, E, and Haff, GG. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ* 44: 1693–1702, 2014.
300. Semmler, J and Enoka, R. Neural Contributions to Changes in Muscle Strength. 2008. pp. 2–20
301. Semmler, JG. Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exerc Sport Sci Rev* 30: 8–14, 2002.
302. Shalfawi, SA, Sabbah, A, Kailani, G, Tønnessen, E, and Enoksen, E. The Relationship Between Running Speed and Measures of Vertical Jump in Professional Basketball Players: A Field-Test Approach. *J Strength Cond Res* 25: 3088–3092, 2011.
303. Sheppard, JM and Young, WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24: 919–932, 2006.
304. Shi, L and Lin, L. The trim-and-fill method for publication bias: practical guidelines and recommendations based on a large database of meta-analyses. *Medicine (Baltimore)* 98: e15987, 2019.
305. Simoneau, JA and Bouchard, C. Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *FASEB J Off Publ Fed Am Soc Exp Biol* 9: 1091–1095, 1995.
306. Smits-Engelsman, BCM, Westenberg, Y, and Duysens, J. Development of isometric force and force control in children. *Brain Res Cogn Brain Res* 17: 68–74, 2003.
307. Spinks, CD, Murphy, AJ, Spinks, WL, and Lockie, RG. The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *J Strength Cond Res* 21: 77–85, 2007.
308. Spiteri, T, Newton, R, Hart, N, et al. Mechanical Determinants of Faster Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes. *J Strength Cond Res* 29: 2205–2214, 2015.
309. Sporis, G, Jukic, I, Milanovic, L, and Vucetic, V. Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 679–686, 2010.
310. Spurrs, RW, Murphy, AJ, and Watsford, ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol* 89: 1–7, 2003.
311. Stasinaki, A-N, Gloumis, G, Spengos, K, et al. Muscle Strength, Power, and Morphologic Adaptations After 6 Weeks of Compound vs. Complex Training in

- Healthy Men. *J Strength Cond Res* 29: 2559–2569, 2015.
312. Sterne, JAC, Sutton, AJ, Ioannidis, JPA, et al. Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ* 343: d4002, 2011.
313. Stølen, T, Chamari, K, Castagna, C, and Wisløff, U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med Auckl NZ* 35: 501–536, 2005.
314. Stone, MH, O'Bryant, HS, McCoy, L, et al. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res* 17: 140–147, 2003.
315. Suarez-Arrones, L, Saez de Villarreal, E, Núñez, FJ, et al. In-season eccentric-overload training in elite soccer players: Effects on body composition, strength and sprint performance. *PloS One* 13: e0205332, 2018.
316. Suchomel, TJ, Nimphius, S, and Stone, MH. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med Auckl NZ* 46: 1419–1449, 2016.
317. Suzovic, D, Markovic, G, Pasic, M, and Jaric, S. Optimum load in various vertical jumps support the maximum dynamic output hypothesis. *Int J Sports Med* 34: 1007–1014, 2013.
318. Swinton, PA, Lloyd, R, Keogh, JW, Agouris, I, and Stewart, AD. Regression models of sprint, vertical jump, and change of direction performance. *J Strength Cond Res* 28: 1839–1848, 2014.
319. Taylor, AD, Humphries, B, Smith, P, and Bronks, R. Electrophoretic separation of myosin heavy chain isoforms in the human m. vastus lateralis: references to reproducibility and relationships with force, electromechanical delay, fibre conduction velocity, endurance and electromyography. *Arch Physiol Biochem* 105: 10–18, 1997.
320. Tesch, PA, Fernandez-Gonzalo, R, and Lundberg, TR. Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise. *Front Physiol* 8: 241, 2017.
321. Thapa, RK, Lum, D, Moran, J, and Ramirez-Campillo, R. Effects of Complex Training on Sprint, Jump, and Change of Direction Ability of Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Psychol* 11: 627869, 2021.
322. Thomas, K, French, D, and Hayes, PR. The Effect of Two Plyometric Training Techniques on Muscular Power and Agility in Youth Soccer Players. *J Strength Cond Res* 23: 332–335, 2009.
323. Thorstensson, A, Grimby, G, and Karlsson, J. Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol* 40: 12–16, 1976.
324. Tihanyi, J, Apor, P, and Fekete, G. Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol* 48: 331–343, 1982.
325. Tillin, NA, Pain, MTG, and Folland, J. Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *J Sports Sci* 31: 66–76, 2013.
326. Tønnessen, E, Hem, E, Leirstein, S, Haugen, T, and Seiler, S. Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. *Int J Sports Physiol Perform* 8: 323–329, 2013.
327. Tricoli, V, Lamas, L, Carnevale, R, and Ugrinowitsch, C. Short-term effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs. *J Strength Cond Res* 19: 433–437, 2005.
328. Trimble, MH, Kukulka, CG, and Thomas, RS. Reflex facilitation during the stretch-shortening cycle. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol* 10: 179–187, 2000.

329. Turpela, M, Häkkinen, K, Haff, GG, and Walker, S. Effects of different strength training frequencies on maximum strength, body composition and functional capacity in healthy older individuals. *Exp Gerontol* 98: 13–21, 2017.
330. Upton, DE. The effect of assisted and resisted sprint training on acceleration and velocity in Division IA female soccer athletes. *J Strength Cond Res* 25: 2645–2652, 2011.
331. Van Cutsem, M and Duchateau, J. Preceding muscle activity influences motor unit discharge and rate of torque development during ballistic contractions in humans. *J Physiol* 562: 635–644, 2005.
332. Van Cutsem, M, Duchateau, J, and Hainaut, K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol* 513 (Pt 1): 295–305, 1998.
333. Vandewalle, H, Pérès, G, and Monod, H. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med Auckl NZ* 4: 268–289, 1987.
334. Vescovi, JD. Impact of maximum speed on sprint performance during high-level youth female field hockey matches: female athletes in motion (FAiM) study. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 621–626, 2014.
335. Vigne, G, Gaudino, C, Rogowski, I, Alloatti, G, and Hautier, C. Activity profile in elite Italian soccer team. *Int J Sports Med* 31: 304–310, 2010.
336. de Villarreal, ES-S, Kellis, E, Kraemer, WJ, and Izquierdo, M. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res* 23: 495–506, 2009.
337. Vissing, K, Brink, M, Lønbro, S, et al. Muscle adaptations to plyometric vs. resistance training in untrained young men. *J Strength Cond Res* 22: 1799–1810, 2008.
338. Voigt, M, Dyhre-Poulsen, P, and Simonsen, EB. Modulation of short latency stretch reflexes during human hopping. *Acta Physiol Scand* 163: 181–194, 1998.
339. Voisin, MPJ and Scohier, M. Effect of an 8-Week Plyometric Training Program with Raised Forefoot Platforms on Agility and Vertical Jump Performance. *Int J Exerc Sci* 12: 491–504, 2019.
340. Wagner, D and Kocak, M. A multivariate approach to assessing anaerobic power following a plyometric training program. *J Strength Cond Res* 11, 1997. Available from: <https://avesis.lokmanhekim.edu.tr/yayin/ef57cbbf-ba92-4ce3-bf9a-def03ffdb235/a-multivariate-approach-to-assessing-anaerobic-power-following-a-plyometric-training-program>
341. Wang, Y-C and Zhang, N. Effects of plyometric training on soccer players. *Exp Ther Med* 12: 550–554, 2016.
342. Washif, J-A and Kok, L-Y. Relationships Between Vertical Jump Metrics and Sprint Performance, and Qualities that Distinguish Between Faster and Slower Sprinters. *J Sci Sport Exerc* , 2021.
343. Waugh, CM, Korff, T, Fath, F, and Blazevich, AJ. Rapid force production in children and adults: mechanical and neural contributions. *Med Sci Sports Exerc* 45: 762–771, 2013.
344. Webb, P and Lander, J. An economical fitness testing battery for high school and college rugby teams. *Sports Coach* 44–46, 1983.
345. Westh, E, Kongsgaard, M, Bojsen-Møller, J, et al. Effect of habitual exercise on the structural and mechanical properties of human tendon, in vivo, in men and women. *Scand J Med Sci Sports* 18: 23–30, 2008.
346. Weyand, PG, Sandell, RF, Prime, DNL, and Bundle, MW. The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 108: 950–961, 2010.

347. Weyand, PG, Sternlight, DB, Bellizzi, MJ, and Wright, S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 89: 1991–1999, 2000.
348. Wilkie, DR. The relation between force and velocity in human muscle. *J Physiol* 110: 249–280, 1949.
349. Wilson, GJ, Murphy, AJ, and Giorgi, A. Weight and plyometric training: effects on eccentric and concentric force production. *Can J Appl Physiol Rev Can Physiol Appl* 21: 301–315, 1996.
350. Wilson, GJ, Newton, RU, Murphy, AJ, and Humphries, BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 25: 1279–1286, 1993.
351. Witvrouw, E, Danneels, L, Asselman, P, D’Have, T, and Cambier, D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med* 31: 41–46, 2003.
352. Witzke, KA and Snow, CM. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1051–1057, 2000.
353. Włodarczyk, M, Adamus, P, Zieliński, J, and Kantanista, A. Effects of Velocity-Based Training on Strength and Power in Elite Athletes-A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 18: 5257, 2021.
354. Wong, P, Chamari, K, and Wisløff, U. Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 644–652, 2010.
355. Young, W. Resistance training: Training for speed/strength: Heavy vs. light loads. *Strength Cond J* 15: 34–43, 1993.
356. Young, W. Effect of Instructions on characteristics of Countermovement and Drop Jump Performance. *J Strength Cond Res* , 1995. Available from: https://www.academia.edu/17125857/Effect_of_Instructions_on_characteristics_of_Counter-movement_and_Drop_Jump_Performance
357. Young, W, Benton, D, Pryor, J, and Duthie, G. Resistance Training for Short Sprints and Maximum-speed Sprints. *Strength Cond J* 23: 7, 2001.
358. Young, WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perform* 1: 74–83, 2006.
359. Zamparo, P, Bolomini, F, Nardello, F, and Beato, M. Energetics (and kinematics) of short shuttle runs. *Eur J Appl Physiol* 115: 1985–1994, 2015.
360. Zatsiorsky, VM. Science and practice of strength training. , 2006.
361. Zatsiorsky, VM and Kraemer, VJ. Science and practice of strength training. *human kinetics, campaign IL Illinois* , 1995.
362. Zghal, F, Colson, SS, Blain, G, et al. Combined Resistance and Plyometric Training Is More Effective Than Plyometric Training Alone for Improving Physical Fitness of Pubertal Soccer Players. *Front Physiol* 10, 2019. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6692572/>
363. Zisis, P. The effects of an 8 weeks plyometric training program or an explosive strength training program on the Jump-and-Reach Height of male amateur soccer players. *J Phys Educ Sport* 13: 594–600, 2013.

12 ANEXOS:

12.1 ANEXO 1: Consentimiento informado (Para jugadores menores de edad y adultos)

CONSIDERACIONES ÉTICAS

DOCUMENTO REDACTADO SOBRE CONSIDERACIONES ÉTICAS.

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO “EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO EN SALTO Y CAMBIO DE DIRECCION EN TRES PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO EN JUGADORES DE FUTBOL JOVENES”.

D.
padre, madre o tutor/a de.....
con D.N.I.

DECLARO: Que he sido informado por D. Carlos León Muñoz sobre las posibles consecuencias de la realización de un entrenamiento de salto, velocidad y fuerza en jugadores de fútbol dos veces a la semana y los test físicos de potencia de salto, velocidad de 20m, velocidad test de agilidad y fuerza en el tren inferior, así como los riesgos potenciales y molestias que pudieran derivarse, a la vez que he podido realizar todas las preguntas que he considerado necesarias, siendo respondidas de manera comprensible para mí.

Se me ha informado de mi derecho a rechazar el tratamiento o revocar éste consentimiento.

Por lo tanto, CONSIENTO que la persona por la que actúo se someta al tratamiento indicado.

Si el caso de la persona por la que actúo puede ser de utilidad científica y para tal fin se publican artículos científicos, autorizo su publicación siempre y cuando se garantice el más absoluto respeto, intimidad y anonimato a la persona que tutelo.

Firma del padre, madre o tutor/a

Firma del responsable del estudio

En.....a.....de.....de 2022.

12.2 ANEXO 2: Programa de entrenamiento detallado Estudio 3**RESUMEN****CANTIDAD POR SESIÓN:**

Grupo	Cantidad por sesión
Pliometría	75 saltos + 9 sprints y giros
Pliometría + Velocidad	75 saltos + 9 sprints y giros
Pliometría + Velocidad + Fuerza	50 saltos + 6 sprints y giros

EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA:

Todos los ejercicios serán realizados a modo de secuencia finalizando con tareas como una disputa aérea con remate de cabeza, un remate a portería, etc. El grupo de pliometría solo realizará una secuencia durante 6 series. El grupo de pliometría más velocidad realizará tres secuencias en 3 series. Y el grupo fuerza más pliometría más velocidad realizará cuatro secuencias en 2 series. Por lo que todos realizarán el mismo total de series. Todos realizan la misma carga relativa de saltos y de sprints con CDD. Se diferenciarán dos días diferentes donde el primer día se realizarán saltos a dos piernas y el segundo día se realizarán saltos a una pierna. Habrá dos fases donde se irá progresando en dificultad de los saltos o aumento de la carga.

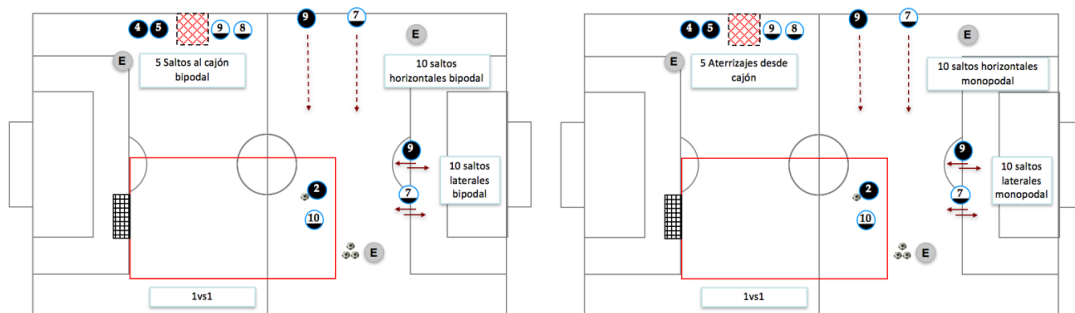
GRUPO PLIOMETRÍA

Ejercicios:

FASE 1 (3 semanas)	FASE 2 (3 semanas)
Bajar cajón (énfasis en acción excéntrica)	Drop jump (énfasis CEA)
Saltar cajón (énfasis acción concéntrica)	Salto al cajón + 12% peso corporal
Salto horizontal parando (énfasis en la técnica)	Salto horizontal 12% peso corporal
Salto lateral parado (énfasis en la técnica)	Salto lateral 12% peso corporal

Secuencia:

DÍA	Salto Vertical (5x6)	Salto Horizontal (10x6)	Salto Lateral (10x6)	Saltos Totales
Martes	Salto al cajón	Salt. Horiz. 2 piernas	Salt. Lat. 2 piernas	150
Jueves	Bajar cajón/DJ	Salt. Horizontal 1 pierna	Salto Lateral 1 pierna	150



GRUPO PLIOMETRÍA + VELOCIDAD + COD

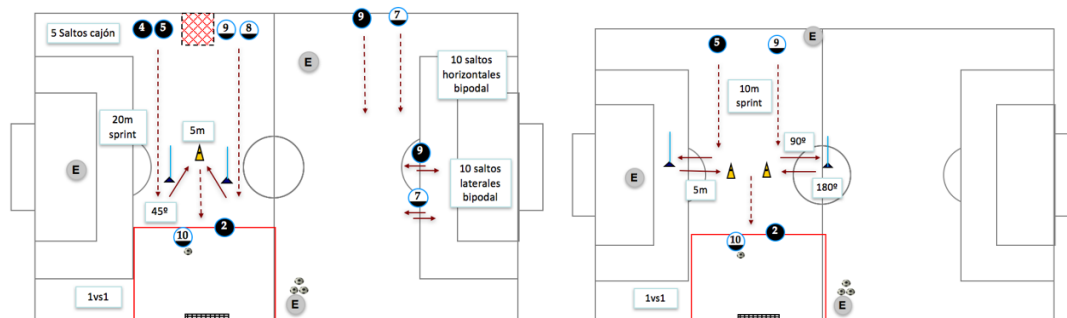
Ejercicios:

FASE 1 (3 semanas)	FASE 2 (3 semanas)
Bajar cajón (énfasis en acción excéntrica)	Drop jump (énfasis CEA)
Saltar cajón (énfasis acción concéntrica)	Subir al cajón con 12% peso corporal
Salto horizontal parando (énfasis en la técnica)	Salto horizontal con 12% peso corporal
Salto lateral parado (énfasis en la técnica)	Salto lateral con 12% peso corporal
5M / 10M /20M sprint	5M / 10M /20M sprint con 12% p.corp
45°/ 90°/ 180° giro	45°/ 90°/ 180° giro con 12% p.corp

Secuencia

Bloque	S. Vertical	S. Horizont	S. Lateral	Velocidad	Total Salt	Total Vel
Bloque 1		10X3	10X3	X	60	X
Bloque 2	5X3	X	X	3	15	3
Bloque 3	X	X	X	2X3		6
TOTAL					75	9

	Martes		Jueves	
Bloque 1	Salto Horiz 2 piernas	Salt. Lat. 2 piernas	Salto Horiz 1 piernas	Salt. Lat. 1 piernas
Bloque 2	Salto cajón	20M con giro 45°	Bajada cajón	20M con giro 45°
Bloque 3	10M con giro 90°	5M con giro 180°	10M con giro 90°	5M con giro 180°



GRUPO PLIOMETRÍA + FUERZA + VELOCIDAD + COD

Ejercicios:

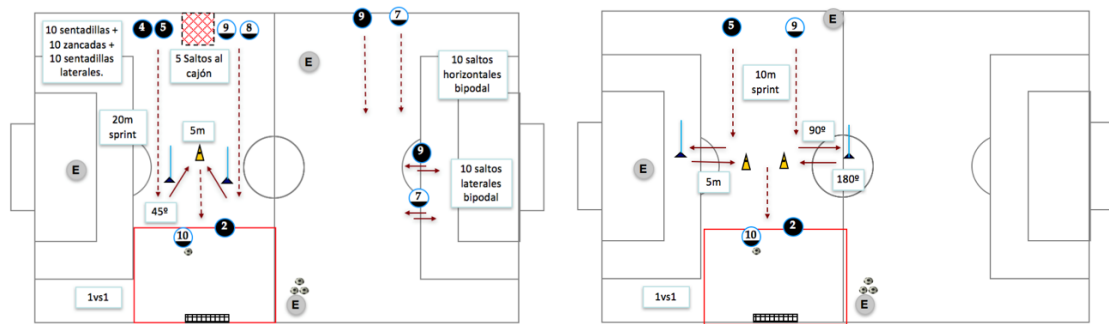
FASE 1 (3 semanas)	FASE 2 (3 semanas)
Sentadilla /zancada /zancada lateral	Sent/ zancada/ zancada lat con 12% p. corp
Bajar cajón (énfasis en acción excéntrica)	Drop jump (énfasis CEA)
Saltar cajón (énfasis acción concéntrica)	Subir al cajón con 12% peso corporal
Salto horizontal parando (énfasis en la técnica)	Salto horizontal con 12% peso corporal
Salto lateral parado (énfasis en la técnica)	Salto lateral con 12% peso corporal
5M / 10M /20M sprint	5M / 10M /20M sprint con 12% p.corp
45°/ 90°/ 180° giro	45°/ 90°/ 180° giro con 12% p.corp

Secuencia

Bloque	Fuerza	S. Vert	S. Horiz	S. Lat	VelL	T. Fuerza	T. Salt	T. Vel
Bloque 1	(10X3)3	X	X	X	X	60	X	X
Bloque 2	X	X	10X2	10X2	X	X	40	X
Bloque 3	X	10X2	X	X	1X2	X	10	2

Bloque 4	X	X	X	X	1X4	X	X	4
Total						60	50	6

	MARTES		Jueves	
Bloque 1	Sentadilla	Zancada+ sent lat	Sentadilla	Zancada+ sent lat
Bloque 2	Salto Horiz 2piernas	Salt. Lat. 2 piernas	Salto Horiz 1 piernas	Salt. Lat. 1 piernas
Bloque 3	Salto cajón	20 M con giro 45°	Bajada cajón/ DJ	20 M con giro 45°
Bloque 4	10 M con giro 90°	5M con giro 180°	10 M con giro 90°	5M con giro 180°



12.3 ANEXO 3: Programa de entrenamiento detallado Estudio 4**RESUMEN****CANTIDAD POR SESIÓN:**GRUPO EXPERIMENTAL: **75 SALTOS + 9 SPRINTS Y GIROS****EXPLICACIÓN PROGRAMA:**

Todos los ejercicios serán realizados a modo de secuencia finalizando con tareas como por ejemplo una disputa aérea con remate de cabeza, un remate a portería etc.

El grupo de pliometría más velocidad realizará dos secuencias en 3 series. Se diferenciarán dos días diferentes donde el primer día se realizarán saltos a dos piernas y el segundo día se realizarán saltos a una pierna. Habrá tres fases donde se irá progresando en dificultad de los saltos o aumento de la carga.

GRUPO EXPERIMENTAL**Ejercicios:**

FASE 1 (3 semanas)	FASE 2 (3 semanas)
Bajar cajón (énfasis en acción excéntrica)	Drop jump (énfasis CEA)
Saltar cajón (énfasis acción concéntrica)	
Salto horizontal parando (énfasis en la técnica)	Salto horizontal continuo con 9% peso corporal
Salto lateral parado (énfasis en la técnica)	Salto lateral continuo con 9% peso corporal
5M / 10M /20M sprint	5M / 10M /20M sprint con 9% peso corporal
45°/ 90°/ 180° giro	45°/ 90°/ 180° giro con 9% peso corporal

Secuencia:

Bloque	S. vertical	S. Horizont	S. Lateral	Velocidad	Total Salt	Total Vel
Bloque 1	5X3	10X3		1X3	45	3
Bloque 2	X	X	10X3	2X6	30	6
Total					75	9

	MARTES		Jueves	
	Bloque 1 (3veces)	Bloque 2 (3veces)	Bloque 1 (3veces)	Bloque 2 (3veces)
Ejercicio 1	Salto cajón /DJ	Salt. Lat. 2 piernas	Bajada cajón/DJ	Salt. Lat. 1 piernas
Ejercicio 2	Salto Horizontal 2 piernas	5M con giro 180°	Salto Horizontal 1 piernas	5M con giro 180°
Ejercicio 3	20 M con giro 45°	10 M con giro 90°	20 M con giro 45°	10M con giro 90°

13 ARTÍCULOS PUBLICADOS:

Effects of Combined Strength Training Methods on Jump Performance: A Systematic Review and Meta-analysis of Controlled Studies

Efectos de los Métodos Combinados de Entrenamiento de Fuerza en el Rendimiento de Salto: Una Revisión Sistemática y Metaanálisis de Estudios Controlados

*Carlos León Muñoz, **Rodrigo Ramírez Campillo, ***Pablo Traver Gil, *Eduardo Sáez de Villarreal Sáez

*Universidad Pablo de Olavide (España), **Universidad Andrés Bello (Chile), ***Universidad Católica de Valencia (España)

Abstract. Actions of short-duration and maximal-effort, such as jumping, are decisive in sports. Using a combination of training (CT) method may be effective to provide variation in stimulus and to increase the overall training adaptation. However, studies analysing the effects of CT are generally limited by small sample sizes. This problem of underpowered studies may, thus, be resolved by pooling study results in a meta-analysis. The objective of this systematic review with meta-analysis was to examine the effects of plyometrics combined with additional training methods (e.g., strength, speed, change of direction (COD)) on vertical jump (VJ) performance, compared with controls groups (CG). The meta-analysis included peer-reviewed articles that incorporated CT in healthy participants and athletes, a CG, and a measure of jumping (CMJ, SJ, DJ and CMJA). The methodological quality of selected studies was assessed with the Cochrane risk of bias tool. Using the random-effects model, effect sizes (ES; Hedge's *g*) were calculated for jumping measures using means and SDs from pre- and post-tests for each dependent variable. Thirty-six studies were included, comprising 1,169 participants. CT improved VJ tests, CMJ (ES = 0.63; 95% CI = 0.49 to 0.77; $p < 0.001$), SJ (ES = 0.77; 95% CI = 0.45 to 1.10; $p < 0.001$), DJ (ES = 0.46; 95% CI = 0.14 to 0.77; $p = 0.005$) and CMJA height (ES = 1.01; 95% CI = 0.31 to 1.70; $p = 0.005$). CT is an effective way to improve VJ height in comparison to CG.

Keywords: Agility, Resistance Training, Speed, Acceleration, Plyometrics.

Resumen. Las acciones de corta duración y esfuerzo máximo, como los saltos, son decisivas en los deportes. El uso de un método de entrenamiento combinado (CT) puede ser efectivo para proporcionar variación en el estímulo y aumentar la adaptación general al entrenamiento. Sin embargo, los estudios que analizan los efectos del CT suelen estar limitados por tamaños de muestra pequeños. Este problema de estudios poco potentes puede resolverse mediante la agrupación de los resultados de los estudios en un metaanálisis. El objetivo de esta revisión sistemática con metaanálisis fue examinar los efectos de la pliometría combinada con métodos de entrenamiento adicionales (por ejemplo, fuerza, velocidad, cambio de dirección (COD)) en el rendimiento de salto vertical (VJ), en comparación con grupos de control (CG). El metaanálisis incluyó artículos revisados por pares que incorporaron CT en participantes saludables y atletas, un CG y una medida de salto (CMJ, SJ, DJ y CMJA). La calidad metodológica de los estudios seleccionados se evaluó con la herramienta de riesgo de sesgo de Cochrane. Utilizando el modelo de efectos aleatorios, se calcularon tamaños de efecto (ES; *g* de Hedge) para las medidas de salto utilizando medias y desviaciones estándar de las pruebas previas y posteriores para cada variable dependiente. Se incluyeron 36 estudios, con un total de 1,169 participantes. El CT mejoró las pruebas de VJ, CMJ (ES = 0.63; IC del 95% = 0.49 a 0.77; $p < 0.001$), SJ (ES = 0.77; IC del 95% = 0.45 a 1.10; $p < 0.001$), DJ (ES = 0.46; IC del 95% = 0.14 a 0.77; $p = 0.005$) y la altura de CMJA (ES = 1.01; IC del 95% = 0.31 a 1.70; $p = 0.005$). El CT es una forma efectiva de mejorar la altura del VJ en comparación con el CG.

Palabras clave: Agilidad, salto vertical, velocidad, aceleración, Pliometría, fuerza

Fecha recepción: 02-02-24. Fecha de aceptación: 23-04-24

Carlos León Muñoz
carlemu@live.com

Introduction

Actions of short duration and maximal effort, such as jumping, play a crucial role in various team sports (e.g., soccer, volleyball) (Fathi et al., 2019; Sanchez-Sixto et al., 2021; Stølen et al., 2005). For instance, as much as 9.9% of soccer goals result from jumping actions (Faude et al., 2012). Notably, a significant correlation ($B = -0.31$, $P = 0.012$) has been identified between jump height in counter-movement jump (CMJ) and squat jump (SJ) and final league standing in soccer, indicating team success (Arnason et al., 2004). Additionally, across various sports vertical jump (VJ), either as CMJ or SJ, was correlated with running sprint speed from 5m up to 40m ($r = 0.53-0.80$) (Cronin & Hansen, 2005; Marques et al., 2011; Shalfawi et al., 2011; Washif & Kok, 2021). Moreover, jump height correlate with performance in volleyball (Ziv & Lidor, 2010), with scoring actions (i.e., spike, block, and serve) predominantly executed during vertical jumps (Sheppard et al.,

2007, 2009). Further, in rugby league players, CMJ height correlate with tackling ability ($r = 0.38$, $p < 0.05$) (Gabbett et al., 2011).

Enhancing VJ performance involves the interaction of several factors, including the stretch-shortening cycle (SSC), rate of force development (RFD), maximal force capacity, and muscle coordination (Arabatzis et al., 2010; Fatouros et al., 2000). Various training methods have been studied to enhance VJ performance, including Plyometric Training (PL), resistance training (RT), muscle electrostimulation (EMS), and speed training (Maffiuletti et al., 2002; Newton & Kraemer, 1994; Sáez de Villarreal et al., 2015; Sáez de Villarreal et al., 2009).

RT involves training movements with external loads in a controlled manner and slow eccentric/concentric actions (Vissing et al., 2008). However, in the last decade, there has been a shift towards incorporating fast-paced movements within RT, aiming to move external loads as quickly as possible (Franco-Márquez et al., 2015; McBride et al.,

2002; Rodríguez-Rosell, Torres-Torrel, et al., 2017). The benefits of RT for athletes include increased ground reaction force generation capability, impulse (Aagaard et al., 2002), and RFD. These attributes make RT methods popular among coaches and researchers (Aagaard et al., 2002; Hoff et al., 2002; Hoff & Helgerud, 2004). The benefits obtained from RT interventions are attributed to increased strength, enhanced recruitment of motor units, and an increased firing rate of motor neurons (Häkkinen et al., 1984; Komi, 1986; Schmidtbleicher & Buhle, 1987).

PL, on the other hand, involves jumping, hopping, and bounding exercises, both bilaterally and unilaterally, with brief foot-ground contact times (e.g., short SSC movements) around 100-250 ms (i.e., high or long jumps) and long SSC characterized by durations greater than 250 ms (i.e., CMJ) (Cormie et al., 2011b). The use of PL with male and female soccer players has demonstrated improvements in muscular power, maximal strength, sprinting, and acceleration capabilities (Ramírez-Campillo et al., 2020, 2021; Ramírez-Campillo et al., 2015).

Given the unique benefits of each method, combining multiple methodologies within a training session has emerged as an effective approach to optimize training effectiveness. It has been demonstrated that combining PL with RT within the same training session can lead to greater improvements in VJ performance (Arabatzí et al., 2010; Sanchez-Sixto et al., 2021). This combined approach has gained popularity due to its superior results in power improvement compared to using PL or RT in isolation (Adams et al., 1992; Fatouros et al., 2000; Zghal et al., 2019). Since VJ performance depends on multiple components, employing a single method may not be as effective as combining various training methods to introduce variation in stimuli and enhance overall training adaptation (Arabatzí et al., 2010).

Conducting a systematic review with meta-analysis is crucial for assessing the effectiveness of combined training methods on jump performance. It synthesizes findings from controlled studies, thereby elucidating the efficacy of these techniques. Moreover, it identifies patterns and biases in the literature, enhancing the understanding of available evidence. This process aids in addressing research gaps by tackling limitations such as inadequate sample sizes or lack of appropriate control groups.

Due to the inconsistencies reported in the literature, with positive ($ES = 6.0; 2.7$) (Kijowski et al., 2015; Sáez de Villarreal et al., 2015) and negative results ($ES = -1.08; -0.2$) (Herrero et al., 2010; Porrati-Paladino & Cuesta-Barriso, 2021), due to the limitation of the sample size of the intervention study (simple size = 5; 6) (Alvarez et al., 2012; Redondo et al., 2014) and the lack of meta-analysis, the necessity of conducting such a comprehensive review becomes evident. Moreover, because systematic reviews

and meta-analyses conducted to date have focused primarily on analyzing the combination of specific training methodologies within the same session, such as plyometric (PL) and resistance training (RT), there is a gap in understanding the effects of combining PL with other training modalities like speed, mobility, balance, etc.

By integrating data from multiple studies, a meta-analysis offers a more comprehensive view of the effects of combined strength training methods, including PL combined with additional training methods such as strength, speed, COD, EMS, among others, on vertical jump (VJ) performance. Advancing this understanding informs sports professionals in enhancing their athletes' performance. Additionally, it significantly contributes to scientific literature and positively impacts sports practice by providing robust evidence on the benefits of these training methods. Furthermore, a meta-analysis can also provide valuable information for scientists and professionals to detect gaps and limitations related to PL combined with other training methods, providing suggestions for future avenues of research.

Therefore, the primary aim of this systematic review with meta-analysis was to examine the effects of PL combined with additional training methods on VJ performance, compared with active/passive control groups. This meta-analysis seeks to fill the gap in the literature and provide a comprehensive understanding of the efficacy of combined training methods in enhancing athletic performance.

Methods

Experimental Approach to the Problem

Data Sources and Searches. A systematic review with Meta-analysis was conducted following the guidelines of the Cochrane Collaboration (Cumpston et al., 2019). Findings were reported in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Liberati et al., 2009). The electronic search was conducted on the following electronic databases: PubMed, and Web of Knowledge. It considered articles published up until July 2021. The following keywords, combined in pairs (e.g., "Plyometric" AND "combined"), were introduced in the selected databases: "plyometric", "combined", "plyometrics", "stretch-shortening cycle", "strength", "sprint", "change of direction", "balance", "flexibility", "electrostimulation". Reference lists from relevant articles were examined to find other possible studies that fit the inclusion criteria.

Subjects

Inclusion and Exclusion Criteria. Studies published in English were considered for inclusion with no age or sex restrictions. The inclusion and exclusion criteria are detailed in Table 1

Table 1
Inclusion and exclusion criteria for studies at the selection stage of the systematic review.

Category	Inclusion criteria	Exclusion criteria
Population	Studies with no restriction of population were considered for inclusion with no age or sex restrictions.	Participants with health problems (e.g., injuries, recent surgery), the intervention was not performed in humans.
Intervention	Studies with experimental groups performing a combination of training methods (e.g., plyometric combined strength).	Studies that do not perform comparison between plyometric training, strength training, or a combination of these training methods; used the complex training methodology; The duration of the intervention was less than three weeks; The training program that had been carried out was not clearly shown; used supplements; the training effect was acute; combined plyometrics with aerobic training.
Comparator	Traditional control group (i.e., athletes participating in regular training schedules) or specific control group (perform a specific training)	Absence of control group.
Outcome	At least one measure related to physical fitness (e.g., vertical jump tasks) before and after the training intervention.	Lack of baseline and/or follow-up data; The results were not displayed clearly; the article was not in full text
Study design	Multi-arm trials.	Single-arm trials/observational studies.

Procedures

Study Selection and Data Extraction. Database searches were performed independently by 2 authors (C.L.M., and E.S.S.). After the removal of duplicates, abstracts were screened, and studies not related to the review's topic were excluded. The remaining articles that were not discarded were read. Then, independently, and blindly, two reviewers selected the studies for inclusion (C.L.M. and E.S.S.), according to the inclusion and exclusion criteria. If no agreement was achieved, a third party intervened (R.R.C.). The current review focused on the physical fitness of athletes as the main outcome. Since power characteristics are crucial during various athletic movements, measures of physical fitness were considered but not limited to vertical jump (i.e., height; distance; power). In cases where the required data were not clearly or completely reported, the authors of the study were contacted for clarification. If no response was obtained from the authors (after one attempts), or if the authors could not provide the requested data, the study outcome was excluded from further analysis. If data were only displayed in the form of figures but not tables, the study outcome was excluded from further analysis.

Data were extracted from the included studies using a form created in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Extracted data included the following information: the first author's name, year of publication, number of participants per group. We also extracted data regarding the participants' sex, age (years), body mass (kg), height (m), and previous RT/PL experience. If applicable, the type and level (e.g., professional, amateur) of sport practice were also extracted.

Risk of Bias Assessment. The methodological quality of selected studies that contained a control group was assessed with the Cochrane risk of bias tool (Higgins et al., 2011). Bias and study quality were assessed by (C.L.M., and E.S.S.) with any disagreements resolved by a third reviewer (R.R.C.). No studies were eliminated based on methodological quality regardless of the score obtained. The assessment for each of the 7 items includes the answer to a question. In response to this question, the term "Yes" was assigned when there is a low risk of bias, the term "No" was assigned when there is a high risk of bias and "Unclear" when

there is not enough information. This evaluation scale has already been used by other reviews in this field using the same evaluation criteria (Cormier et al., 2020).

Statistical Analyses

Studies were meta-analytically aggregated if three or more relatively homogeneous studies were available for the same outcome measure. Effect sizes (ES; Hedge's g) were calculated for jumping measures using means and SDs from pre- and post-tests for each dependent variable. For studies that reported standard error, SDs were calculated by multiplying the standard error with the square root of the sample size (Lee et al., 2015). Data were standardized using post-intervention SD values. The random-effects model was used to account for differences between studies that might affect the intervention effects (Deeks et al., 2008; Kontopantelis et al., 2013). The ES values were presented with 95% confidence intervals (95% CIs). The ES magnitudes were interpreted using the following scale: <0.2, trivial; 0.2-0.6, small; >0.6-1.2, moderate; >1.2-2.0, large; >2.0-4.0, very large; >4.0, extremely large (Hopkins et al., 2009). In studies including more than one intervention group, the sample size of the active and specific-control group was proportionately divided to facilitate comparisons across multiple groups (Deeks et al., 2008). The impact of study heterogeneity was assessed using the I^2 statistic, with values of <25%, 25-75%, and >75% representing low, moderate, and high levels, respectively (Higgins & Thompson, 2002). The risk of reporting bias was explored (with at least 10 studies) (Sterne et al., 2011) using the Egger's test (Egger et al., 1997), with $p < 0.05$ implying bias. To adjust for risk of reporting bias, a sensitivity analysis was conducted using the trim and fill method (Duval & Tweedie, 2000), with L_0 as the default estimator for the number of missing studies (Shi & Lin, 2019). All analyses were carried out using the Comprehensive Meta-Analysis software (Version 2.0; Biostat, Englewood, NJ, USA). The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

The initial search yielded 1,271 articles from databases

and 11 from other sources. After duplicates removal, 333 remained and were screened by titles and abstracts. The remaining articles were screened based on the inclusion and exclusion criteria. After the study selection process, 36 studies were included (Figure 1).

General characteristics of studies

The basic characteristics of the participants and the programming parameters of the combined interventions from the included studies are displayed in (Table 2).

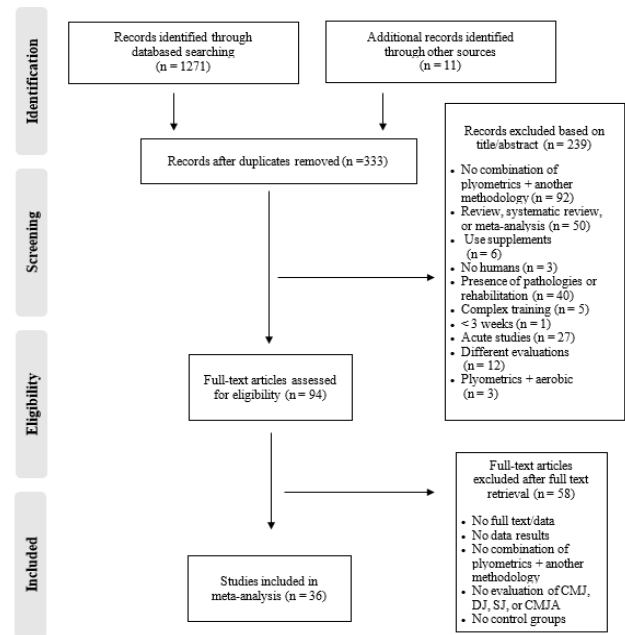


Figure 1. Flow diagram for the different stages of the systematic review process.

Table 2
Characterization of participants groups and training interventions

	N° subjects	Age (year)	Weight (kg)	Height (cm)	Gender	Years' exp	Strength exp	Fit	Group level	Sport	Treatment	Duration	N° sessions	Test Test
Aloui 2021	17	16	64.5	173	M	6	YES	Elite	Na	Soc	PL+SP + COD	8	16	SJ+AVA
Álvarez 2012	5	24.2	68.09	171.9	M	7.9	NR	NR	Reg	Golf	PL+RT	6	12	SJ CMJ
Arabatzi 2010	10	20.3	85.2	185	M	NR	YES	Good	NR	NR	PL+RT	8	24	SJ CMJ
Arabatzi 2010	10	20.3	85.2	185	M	NR	YES	Good	NR	NR	PL+RT	8	24	SJ CMJ
Arede 2019	9	14	56.2	165	M	5	YES	Good	Reg	Bask	PL + RT + SP + COD + BAL	8	32	SJ+CMJ
Bouteraa 2018	16	16	56.6	168	W	NR	NR	NR	Reg	Bask	PL + BA	8	16	SJ+CMJ + DJ
Chaouachi 2014	14	13	45.9	158	M	0	NO	Re	No ath	No sport	PL+ BA	8	24	CMJ
Fathi 2019	20	14.7	68.7	177	M	NR	NR	Elite	Na	Vol	PL+RT	16	32	SJ CMJ
Fatouros 2000	10	20	79.9	178	M	NR	NO	NR	NR	NR	PL+RT	12	36	AVA
Faude 2013	8	23.1	78.9	183	M	10	NR	Re	Reg	Soc	PL+RT + SP	7	14	CMJ + DJ
Floría 2019	17	23.1	60.4	168	W	5	NR	NR	NR	Bask	PL+RT	6	12	CMJ
Franco-Márquez 2015	20	14.7	60.3	171	M	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT + SP + COD	6	12	CMJ
Hammami 2018	14	14	69.3	178	M	4	YES	Elite	Na	Hand	PL+SP + COD	6	12	SJ+CMJ + AVA
Herrero 2010	11	21	80.2	179	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT + EL	4	16	SJ+CMJ + AVA
Herrero 2010	8	21	79	172	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT	4	16	SJ+CMJ + AVA
Hunter 2002 A	14	24	82.9	NR	M	NR	YES	NR	NR	Mix	PL+RT + FL	10	20	CMJ+DJ + DJ+DJ

Hunter 2002 B	11	24	82.9	NR	M	NR	YES	NR	NR	Mix	PL + RT	10	20	CMJ+DJ +DJ+DJ
Kijowski 2015	9	21.2	79.5	182	M	NR	YES	NR	NR	No sport	PL+RT	4	8	SJ CMJ
Lyttlee 1996	11	24	72.5	178	M	NR	NO	NR	RE	Mix	PL+RT	8	16	SJ CMJ
Makhlouf 2018	20	11	36.6	147	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+COD	8	16	CMJ
Makhlouf 2018	21	11	36.9	145	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+ BA	8	16	CMJ
Martínez-López 2012	27	18	61.6	168	B	5	NR	NR	NR	Track	PL+ EL	8	16	SJ+CMJ +DJ
Martínez-López 2012	23	18	59.1	166	B	5	NR	NR	NR	Track	PL+ EL	8	16	SJ+CMJ +DJ
Martínez-López 2012	24	18	56.2	163	B	5	NR	NR	NR	Track	PL+ EL	8	16	SJ+CMJ +DJ
Otero-Esquina 2017	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT + SP	7	7	CMJ
Otero-Esquina 2017	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT + SP	7	14	CMJ
Pérez-Gómez 2008	16	23.4	71.2	174.9	NR	NR	NR	NR	NR	NR	PL+RT	6	18	SJ+CMJ
Pienaar 2013	19	18.94	89.96	183.38	M	11	NR	Re	Na	Rug	PL+RT	4	12	AVA
Porrati-Paladino 2021	9	21	61.8	163	W	7	NR	Re	Reg	Soc	PL+RT	6	18	CMJ
Prieto 2021	15	14.2	56.9	169	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	CMJ
Prieto 2021	15	17.2	65.3	171	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	CMJ
Qi 2019	31	10.6	37.5	142.9	NR	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT + SP	4	8	AVA
Racil 2020	9	15.7	59.5	170	M	4	NR	Good	Reg	Track	PL+FL	12	36	SJ+ CMJ
Ramos Veliz 2014	16	20.43	81.43	180.33	M	8	NR	Good	Na	Wat	PL+RT	18	36	CMJ
Redondo 2014	6	24.8	70.46	173.3	M	9.7	NR	NR	Na	Fen	PL+RT	6	12	SJ CMJ
Rodríguez-Rosell 2016	15	12.7	47.6	158	NR	3	NO	Good	NR	Soc	PL+RT + SP	6	12	CMJ
Rodríguez-Rosell 2017	10	24.5	74.5	176	NR	8	NO	Re	Reg	Soc	PL+RT +SP+COD	6	12	CMJ
Rodríguez-Rosell 2017	15	12.6	46.3	158	NR	2	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT +SP+COD	6	12	CMJ
Rodríguez-Rosell 2017	14	14.6	59.6	170	NR	4	NO	Elite	Reg	Soc	PL+RT +SP+COD	6	12	CMJ
Rodríguez-Rosell 2017	14	16.4	69.1	172	NR	6	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT + SP+COD	6	12	CMJ
Rønnestad 2008	8	24	73.5	180	M	NR	YES	Elite	Na	Soc	PL+RT	7	14	SJ CMJ
Sáez de Villarreal 2015	13	15	57	168	NR	6	NR	Good	Na	Soc	PL+SP	9	18	CMJ +AVA
Sánchez-Sixto 2021	13	23	60.14	168	W	5	NR	NR	NR	Bask	PL+RT	6	12	CMJ

Tricoli 2005	8	22	73.4	179.4	M	NR	YES	Re	Amat	NR	PL+RT	8	24	SJ CMJ
Usman 2019	30	19.6	66	176	M	NR	NR	NR	NR	Vol	PL+FL	8	16	AVA
Zghal 2019	14	14.5	60.2	172	NR	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT + SP	7	14	SJ+CMJ +DJ

NR: No report; Exp: Experience; M: Male, F:Female, B: Both; Fit: Fitness, Re: Regular; Int: International, Na: Nacional, Reg: Regional, Amat: Amateur, No athletes: No ath; Soccer: Soc, Basketball: Bask, volleyball: Vol, Water polo: War, Rugby: Rug, Fencing: Fen, Track and Field: Tra, Mixed sports: Mix, Handball: hand; PL:Plometrics, RT: Resistance training, Speed: SP, Change of direction: COD, Electrostimulation: EL, Balance: BA, Flexibility: FL; Avalakov: AVA

Study quality

The methodological quality of eligible studies is shown in Figure 2. All studies should be considered at high risk of bias. Likewise, the overall assessment should be high risk of bias. Most studies (36/40, 90%) were at low risk of bias

arising from randomization, and all studies had low risk of attrition bias, reporting bias, and other bias. High risk of performance and detection bias was found for every study, and high risk of selection bias was detected for most studies, there was only one exception.

Table 3.

Methodological quality. Risk of bias table: review of authors' judgments about each risk of bias item across all included studies (studies with control group)

	Random sequence generation (Selection bias)	Allocation concealment (Selection bias)	Blinding of participants and personnel (Performance bias)	Blinding of outcome assessment (Detection bias)	Incomplete outcome data (Attrition bias)	Selective reporting (Reporting bias)	Other bias
Aloui 2021	+	-	-	-	+	+	+
Álvarez 2012	+	-	-	-	+	+	+
Arabatzis 2010	+	-	-	-	+	+	+
Arede 2019	-	-	-	-	+	+	+
Bouteraa 2018	+	-	-	-	+	+	+
Chaouachi 2014	+	-	-	-	+	+	+
Fathi 2019	+	-	-	-	+	+	+
Fatouros 2000	-	-	-	-	+	+	+
Faude 2013	+	-	-	-	+	+	+
Floría 2019	+	-	-	-	+	+	+
Franco 2015	-	-	-	-	+	+	+
Hammami 2018	+	-	-	-	+	+	+
Herrero 2010	+	-	-	-	+	+	+
Hunter 2002	+	-	-	-	+	+	+
Kijowski 2015	+	-	-	-	+	+	+
Lyttlee 1996	+	-	-	-	+	+	+
Makhlouf 2018	+	-	-	-	+	+	+
Martinez 2012	+	-	-	-	+	+	+
Otero 2017	-	-	-	-	+	+	+
Pérez 2008	+	-	-	-	+	+	+
Pienaar 2013	+	-	-	-	+	+	+
Porrati 2021	+	+	-	-	+	+	+
Prieto 2021	+	-	-	-	+	+	+
Qi 2019	+	-	-	-	+	+	+
Racil 2020	+	-	-	-	+	+	+
Ramos 2014	+	-	-	-	+	+	+
Redondo 2014	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2016	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Rønnestad 2008	+	-	-	-	+	+	+
Sáez de Villarreal 2015	+	-	-	-	+	+	+
Sanchez-sixto2021	+	-	-	-	+	+	+
Tricoli 2005	+	-	-	-	+	+	+
Usman 2019	+	-	-	-	+	+	+
Zghal 2019	+	-	-	-	+	+	+

Meta-Analyses

CMJ. Thirty-one studies provided data for countermovement jump performance, involving 41 experimental and 34 control groups (pooled n = 970). Results showed a moderate effect of trained participants on CMJ performance (ES = 0.63; 95% CI = 0.49 to 0.77; p < 0.001; I2 = 39.8%; Egger's test p = 0.110; Figure 2) when compared to CG. When results were analysed as per athletes' involvement in specific-

active or traditional-active CG, no significant moderator effect was noted for type of control (p=0.869 between groups; specific-active: 6 data points, ES = 0.73, I2 = 48.6%; traditional-active: 35 data points, ES = 0.69; I2 = 40.1%). When CMJ results were analysed as per athletes involvement in a combination of 2 training methods (28 data points; ES = 0.71; p<0.001; I2 = 52.8%) compared to ≥3 training methods (13 data points; ES = 0.67; p<0.001; I2 = 0.0%), no significant moderator effect was

noted ($p = 0.797$ between groups).

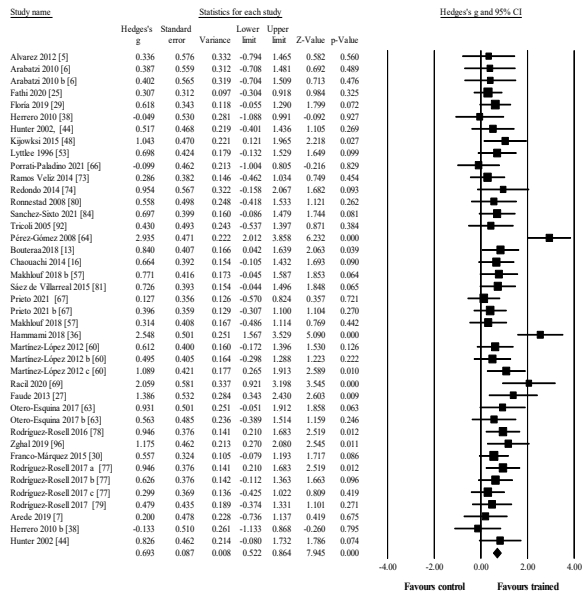


Figure 2. CMJ. Forest plot of changes in counter movement jump, in athletes participating in combined training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The black rhomboid reflects the overall result.

SJ. Sixteen studies provided data for squat jump, involving 20 experimental and 16 CG (pooled $n = 430$). Results showed a moderate effect of trained participants on SJ ($ES = 0.77$; 95% CI = 0.45 to 1.10; $p < 0.001$; $I^2 = 60.0\%$; Egger's test $p = 0.797$; Figure 3 when compared to controls. When results were analysed as per athletes' involvement in specific-active or traditional-active CG, no significant moderator effect was noted for type of control ($p=0.601$ between groups; specific-active: 5 data points, $ES = 0.91$, $I^2 = 50.8\%$; traditional-active: 15 data points, $ES = 0.72$; $I^2 = 64.2\%$).

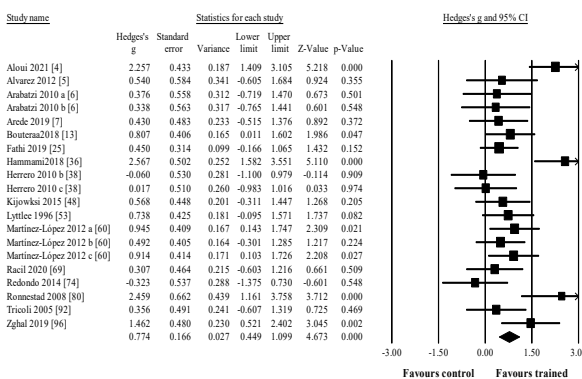


Figure 2. SJ. Forest plot of changes in squat jump, in athletes participating in combined training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The black rhomboid reflects the overall result.

CMJA. Eight studies provided data for countermovement jump with arms performance, involving 9 experimental and 8 control groups (pooled $n = 282$). Results showed a moderate effect of trained participants on CMJA performance ($ES = 1.01$; 95% CI = 0.31 to 1.70; $p = 0.005$; $I^2 = 85.8\%$; Figure 4) when compared to controls. Results were not analysed as per athletes' involvement in specific-active or traditional-active CG, as all CG involved traditional-active participants.

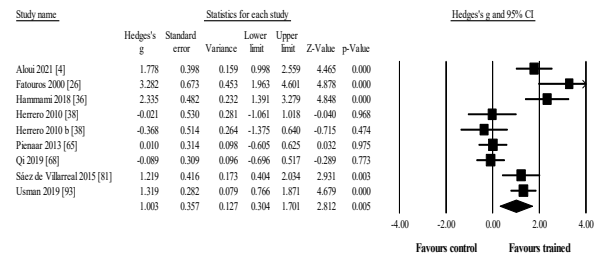


Figure 3. CMJA. Forest plot of changes in counter movement jump with arms (i.e., Abalakov), in athletes participating in combined training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The black rhomboid reflects the overall result.

DJ. Five studies provided data for drop jump performance, involving 12 experimental and 7 control groups (pooled $n = 237$). Results showed a small effect of trained participants on DJ performance ($ES = 0.46$; 95% CI = 0.14 to 0.77; $p = 0.005$; $I^2 = 26.3\%$; Figure 5) when compared to controls. When results were analysed as per athletes' involvement in specific-active or traditional-active CG, a significant moderator effect was noted for type of control ($p = 0.021$ between groups; specific-active: 3 data points, $ES = -0.01$, $I^2 = 0.0\%$; traditional-active: 9 data points, $ES = 0.61$; $I^2 = 0.0\%$).

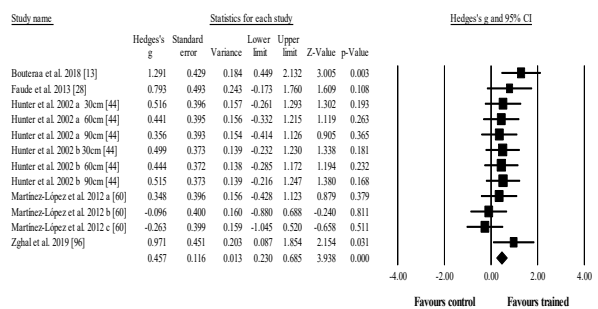


Figure 4. DJ. Forest plot of changes in drop jump, in athletes participating in combined training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The black rhomboid reflects the overall result.

Discussion

The aim of this meta-analysis was to assess the impact of CT in comparison to control conditions on jumping performance. Our findings indicate that CT can effectively enhance performance in CMJ (Effect Size, $ES=0.63$), SJ ($ES=0.77$), CMJA ($ES=1.01$), and DJ ($ES=0.46$) when

compared to control conditions (active and passive). Additionally, when analysing CMJ results based on athletes' involvement in plyometric training combined with one versus two or more training methods, no significant moderator effects were observed. This suggests that sport scientists and strength and conditioning professionals can choose either combination method to achieve positive adaptations in neuromuscular performance variables in both sport and healthy populations.

The results of this meta-analysis provides confirmation to previous narrative reviews (Bauer et al., 2019; Cormier et al., 2020; Thapa et al., 2021) on the effects of PL training combined with RT for the improvement of VJ ability. These improvements in VJ due to PL combined are highly relevant because it has been shown that a 10% increase in VJ is then transferred to an increase in sport-specific jumping (Bobbert, 1990; Markovic, 2007; Sáez de Villarreal et al., 2009). The level of the athletes has to be taken into account, in many studies included in the meta-analysis the athletes were of a low level (Chaouachi et al., 2014; Faude et al., 2012; Pienaar & Coetzee, 2013; Porrati-Paladino & Cuesta-Barriuso, 2021; Qi et al., 2019). It could be assumed that the relatively novel and higher-loaded strength training stimulus might have produced a strong adaptive response, although explicit testing of this hypothesis is needed.

The results of this meta-analysis align with previous narrative reviews (Bauer et al., 2019; Cormier et al., 2020; Thapa et al., 2021) on the positive effects of PL combined with RT for improving VJ ability. These improvements are particularly significant, as a 10% increase in VJ has been shown to translate into enhanced sport-specific jumping (Bobbert, 1990; Markovic, 2007; Sáez de Villarreal et al., 2009). It's important to consider the athletes' level, as many studies included in the meta-analysis involved low-level athletes (Chaouachi et al., 2014; Faude et al., 2012; Pienaar & Coetzee, 2013; Porrati-Paladino & Cuesta-Barriuso, 2021; Qi et al., 2019). The relatively novel and higher-loaded strength training stimulus in these studies may have elicited a strong adaptive response, though further explicit testing of this hypothesis is warranted.

The improvements observed in VJ performance after CT may result from both mechanical and physiological adaptations like those obtained with PL or RT programs. However, these improvements may be enhanced when these methods are combined in the same training session (Carter & Greenwood, 2014; Robbins, 2005; Sale, 2002). Hormonal adaptations, such as an increase in testosterone, and cellular adaptations favouring strength-power generation contribute to these improvements (Ali et al., 2019; Beaven et al., 2011). Notably, CT may help preserve the number of type IIx fibers, crucial for high-speed contractions during maximal-intensity and short-duration actions like VJ (Stasinaki et al., 2015; Grgic et al., 2021; Macaluso et al., 2012, 2014). Greater recruitment of fast-

twitch muscle fibers during CT, possibly due to the combination of high loads at low speed with low loads at high speed, has also been observed (Golaś et al., 2016). Additionally, CT may enhance coordination and synchronization of muscle groups, improving motor skills and transfer of energy during concentric and eccentric phases of muscle movement (J. Cronin et al., 2001; Robbins, 2005). These adaptations contribute to improvements in speed, jumping, and agility (Cavaco et al., 2014; García-Pinillos et al., 2014)

From another perspective, CT may optimize the athlete's strength-velocity curve by combining low loads (PL) with high loads (RT) (Cormie et al., 2011a). This ensures that the athlete has trained across the full spectrum of the force-velocity continuum. Considering the significance of the force-velocity spectrum parameters (Jiménez-Reyes et al., 2022), the performance improvements observed after CT may be attributed to optimizing the force-velocity spectrum (Jiménez-Reyes et al., 2016, 2019).

However, some limitations need acknowledgment. Firstly, there was high heterogeneity among the studies due to differences in populations and training characteristics. Secondly, the absence of CT studies involving female participants (only five studies) suggests caution in extrapolating current findings to female athletes. Future research should address this gap. Additionally, the disproportionate inclusion of plyometric combined strength studies compared to PL combined with other methods underscores a gap in the literature. The use of various instruments and testing procedures for VJ measurements, both direct and indirect, may have influenced the outcome of results (Thapa et al., 2021). Despite these limitations, combined plyometric training emerges as a favourable approach for enhancing vertical jump compared to control conditions (active and passive), with significant improvements observed across all VJ tests despite high heterogeneity among studies.

In conclusion, this systematic review and meta-analysis aimed to investigate the specific impact of combined training on jump performance on different jump tests (CMJ, CMJA, SJ and DJ) in athletes from various sports and in healthy individuals. The results indicate that both athletes and healthy participants can experience beneficial improvements in jump height outcomes through combined training. These improvements are typically of moderate magnitude, especially with training interventions lasting more than three weeks. Despite some variability in the results, there is a reasonable level of confidence in predicting positive training effects for athletes and healthy individuals in the future. Overall, the findings suggest that the included training programs effectively targeted and challenged the mechanical and neuromuscular demands of jumping.

Practical Application

From an applied perspective, combined methods may be used to achieve positive adaptations on neuromuscular

performance. Combined strength training is effective to improve VJ height on healthy participants and athletes. This may be of interest for coaches and athletes seeking a more time-efficient way to incorporate lower-load and higher-load exercises in their training program. Among the various combinations evaluated, the integration of plyometric and strength training emerges as the most appealing, particularly in disciplines where enhancing vertical jump performance is target. This preference is grounded in the remarkable development of mechanical and physiological adaptations it promotes, which are crucial for enhancing athletic performance holistically. However, the role potential moderator variables such as frequency, duration, or total number of sessions, and the specific dose-response relationships following combined training, particularly in the long term, are unclear at present.

Acknowledgments

The authors have no conflicts of interest to disclose.

References

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 93(4), 1318-1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>
- Adams, K., O'Shea, J. P., O'Shea, K. L., & Climstein, M. (1992). The Effect of Six Weeks of Squat, Plyometric and Squat-Plyometric Training on Power Production. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(1), 36-41.
- Ali, K., Verma, S., Ahmad, I., Singla, D., Saleem, M., & Hussain, M. E. (2019). Comparison of Complex Versus Contrast Training on Steroid Hormones and Sports Performance in Male Soccer Players. *Journal of Chiropractic Medicine*, 18(2), 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2018.12.001>
- Aloui, G., Hermassi, S., Hayes, L. D., Bouhaf, E. G., Chelly, M. S., & Schwesig, R. (2021). Loaded Plyometrics and Short Sprints with Change-of-Direction Training Enhance Jumping, Sprinting, Agility, and Balance Performance of Male Soccer Players. *Applied Sciences*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/app11125587>
- Alvarez, M., Sedano, S., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2012). Effects of an 18-week strength training program on low-handicap golfers' performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 1110-1121. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822dfa7d>
- Arabatzi, F., Kellis, E., & Saèz-Saez De Villarreal, E. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2440-2448. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e274ab>
- Arede, J., Vaz, R., Franceschi, A., Gonzalo-Skok, O., & Leite, N. (2019). Effects of a combined strength and conditioning training program on physical abilities in adolescent male basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(8), 1298-1305. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08961-2>
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical Fitness, Injuries, and Team Performance in Soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 278-285. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA>
- Bauer, P., Uebellacker, F., Mitter, B., Aigner, A. J., Hasenoehrl, T., Ristl, R., Tschan, H., & Seitz, L. B. (2019). Combining higher-load and lower-load resistance training exercises: A systematic review and meta-analysis of findings from complex training studies. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(7), 838-851. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.01.006>
- Beaven, C. M., Gill, N. D., Ingram, J. R., & Hopkins, W. G. (2011). Acute salivary hormone responses to complex exercise bouts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1072-1078. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf4414>
- Bobbert, M. F. (1990). Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 9(1), 7-22. <https://doi.org/10.2165/00007256-199009010-00002>
- Bouteraa, I., Negra, Y., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2020). Effects of Combined Balance and Plyometric Training on Athletic Performance in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(7), 1967-1973. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002546>
- Carter, J., & Greenwood, M. (2014). Complex Training Reexamined: Review and Recommendations to Improve Strength and Power. *Strength & Conditioning Journal*, 36(2), 11-19. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000036>
- Cavaco, B., Sousa, N., Dos Reis, V. M., Garrido, N., Saavedra, F., Mendes, R., & Vilaça-Alves, J. (2014). Short-term effects of complex training on agility with the ball, speed, efficiency of crossing and shooting in youth soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 43, 105-112. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0095>
- Chaouachi, A., Othman, A. B., Hammami, R., Drinkwater, E. J., & Behm, D. G. (2014). The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 401-412. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182987059>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(2), 125-

146. <https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
- Cormier, P., Freitas, T. T., Rubio-Arias, J. Á., & Alcaraz, P. E. (2020). Complex and Contrast Training: Does Strength and Power Training Sequence Affect Performance-Based Adaptations in Team Sports? A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(5), 1461-1479. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003493>
- Cronin, J. B., & Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 349-357. <https://doi.org/10.1519/14323.1>
- Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Velocity specificity, combination training and sport specific tasks. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(2), 168-178. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(01\)80027-x](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(01)80027-x)
- Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., Chandler, J., Welch, V. A., Higgins, J. P., & Thomas, J. (2019). Updated guidance for trusted systematic reviews: A new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 10, ED000142. <https://doi.org/10.1002/14651858.ED000142>
- Deeks, J. J., Higgins, J. P., & Altman, D. G. (2008). Analysing Data and Undertaking Meta-Analyses. En J. P. Higgins & S. Green (Eds.), *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (pp. 243-296). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470712184.ch9>
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), 455-463. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341x.2000.00455.x>
- Egger, M., Davey Smith, G., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 315(7109), 629-634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Fathi, A., Hammami, R., Moran, J., Borji, R., Sahli, S., & Rebai, H. (2019). Effect of a 16-Week Combined Strength and Plyometric Training Program Followed by a Detraining Period on Athletic Performance in Pubertal Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2117-2127. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002461>
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., & Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of Plyometric Exercise Training, Weight Training, and Their Combination on Vertical Jumping Performance and Leg Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625-631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Faude, O., Roth, R., Di Giovine, D., Zahner, L., & Donath, L. (2013). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: A randomised-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1460-1467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.796065>
- Floría, P., Sánchez-Sixto, A., & Harrison, A. J. (2019). Application of the principal component waveform analysis to identify improvements in vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 37(4), 370-377. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1504602>
- Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suárez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906-914. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1548890>
- Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Abernethy, B. (2011). Correlates of tackling ability in high-performance rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 72-79. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ff506f>
- García-Pinillos, F., Martínez-Amat, A., Hita-Contreras, F., Martínez-López, E. J., & Latorre-Román, P. A. (2014). Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2452-2460. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000452>
- Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., & Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of Human Kinetics*, 52, 95-106. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0197>
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., & Mikulic, P. (2021). Effects of plyometric vs. resistance training on skeletal muscle hypertrophy: A review. *Journal of Sport and Health Science*, 10(5), 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.06.010>
- Häkkinen, K., Alén, M., & Komi, P. V. (1984). Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(2), 97-105. <https://doi.org/10.1007/BF00422570>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Aloui, G., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Combined Plyometric and Short Sprint With Change-of-Direction Training on Athletic Performance of Male U15 Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 662-675. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002870>
- Herrero, A. J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B., & García-López, D. (2010). Short-term effect of plyometrics and strength training with and without

- superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance: A randomized controlled trial. Part II. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1616-1622. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d8e84b>
- Higgins, J. P. T., Altman, D. G., Gotzsche, P. C., Jüni, P., Moher, D., Oxman, A. D., Savović, J., Schulz, K. F., Weeks, L., & Sterne, J. A. C. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 343, d5928. <https://doi.org/10.1136/bmj.d5928>
- Higgins, J. P. T., & Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 21(11), 1539-1558. <https://doi.org/10.1002/sim.1186>
- Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(5), 288-295. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01140.x>
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: Physiological considerations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(3), 165-180. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434030-00003>
- 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hunter, J. P., & Marshall, R. N. (2002). Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(3), 478-486.
- Jiménez-Reyes, P., García-Ramos, A., Párraga-Montilla, J. A., Morcillo-Losa, J. A., Cuadrado-Peñafiel, V., Castaño-Zambudio, A., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2022). Seasonal Changes in the Sprint Acceleration Force-Velocity Profile of Elite Male Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(1), 70-74. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003513>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J.-B. (2016). Effectiveness of an Individualized Training Based on Force-Velocity Profiling during Jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 677. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2019). Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS One*, 14(5), e0216681. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681>
- Kijowksi, K. N., Capps, C. R., Goodman, C. L., Erickson, T. M., Knorr, D. P., Triplett, N. T., Awelewa, O. O., & McBride, J. M. (2015). Short-Term Resistance and Plyometric Training Improves Eccentric Phase Kinetics in Jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2186-2196. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000904>
- Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*, 7 Suppl 1, 10-15. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025796>
- Kontopantelis, E., Springate, D. A., & Reeves, D. (2013). A Re-Analysis of the Cochrane Library Data: The Dangers of Unobserved Heterogeneity in Meta-Analyses. *PLOS ONE*, 8(7), e69930. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069930>
- Lee, D. K., In, J., & Lee, S. (2015). Standard deviation and standard error of the mean. *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(3), 220. <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.3.220>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: Explanation and elaboration. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 339, b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Lyttle, A. D., Wilson, G. J., & Ostrowski, K. J. (1996). Enhancing Performance: Maximal Power Versus Combined Weights and Plyometrics Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(3), 173-179.
- Macaluso, F., Isaacs, A. W., Di Felice, V., & Myburgh, K. H. (2014). Acute change of titin at mid-sarcomere remains despite 8 wk of plyometric training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 116(11), 1512-1519. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00420.2013>
- Macaluso, F., Isaacs, A. W., & Myburgh, K. H. (2012). Preferential type II muscle fiber damage from plyometric exercise. *Journal of Athletic Training*, 47(4), 414-420. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.4.13>
- Maffiuletti, N. A., Dugnani, S., Folz, M., Di Pierro, E., & Mauro, F. (2002). Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1638-1644. <https://doi.org/10.1097/00005768-200210000-00016>
- Makhlouf, I., Chaouachi, A., Chaouachi, M., Ben Othman, A., Granacher, U., & Behm, D. G. (2018). Combination of Agility and Plyometric Training Provides Similar Training Benefits as Combined Balance and Plyometric Training in Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 9, 1611. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01611>
- Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 349-355; discussion 355. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.035113>
- Marques, M. C., Gil, H., Ramos, R. J., Costa, A. M., & Marinho, D. A. (2011). Relationships Between Vertical Jump Strength Metrics and 5 Meters Sprint Time. *Journal of Human Kinetics*, 29, 115-122.

- <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0045-6>
- Martínez-López, E. J., Benito-Martínez, E., Hita-Contreras, F., Lara-Sánchez, A., & Martínez-Amat, A. (2012). Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, *11*(4), 727-735.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. Light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *16*(1), 75-82.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength & Conditioning Journal*, *16*(5), 20-31.
- Otero-Esquina, C., de Hoyo Lora, M., Gonzalo-Skok, Ó., Domínguez-Cobo, S., & Sánchez, H. (2017). Is strength-training frequency a key factor to develop performance adaptations in young elite soccer players? *European Journal of Sport Science*, *17*(10), 1241-1251. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1378372>
- Perez-Gomez, J. P.-G., Olmedillas, H. O., Delgado-Guerra, S. D.-G., Royo, I. A. R. A., Vicente-Rodriguez, G. V.-R., Ortiz, R. A. O. A., Chavarren, J. C., & Calbet, J. A. L. C. A. L. (2008). Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. <https://doi.org/10.1139/H08-026>
- Pienaar, C., & Coetzee, B. (2013). Changes in selected physical, motor performance and anthropometric components of university-level rugby players after one microcycle of a combined rugby conditioning and plyometric training program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(2), 398-415. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825770ea>
- Porrati-Paladino, G., & Cuesta-Barriuso, R. (2021). Effectiveness of Plyometric and Eccentric Exercise for Jumping and Stability in Female Soccer Players-A Single-Blind, Randomized Controlled Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph18010294>
- Prieto, M. F., González, J. R., Sáez, E. S. de V., Palma, J. R., García, F. J. I., & Fernández, F. T. G. (2021). Effects of combined plyometric and sled training on vertical jump and linear speed performance in young soccer players. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación*, *42*, 228-235.
- Qi, F., Kong, Z., Xiao, T., Leong, K., Zschorlich, V. R., & Zou, L. (2019). Effects of Combined Training on Physical Fitness and Anthropometric Measures among Boys Aged 8 to 12 Years in the Physical Education Setting. *Sustainability*, *11*(5), 1219. <https://doi.org/10.3390/su11051219>
- Racil, G., Jlid, M. C., Bouzid, M. S., Sioud, R., Khalifa, R., Amri, M., Gaided, S., & Coquart, J. (2020). Effects of flexibility combined with plyometric exercises vs isolated plyometric or flexibility mode in adolescent male hurdlers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *60*(1), 45-52. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09906-7>
- Ramírez-Campillo, R., Gallardo, F., Henriquez-Olguín, C., Meylan, C. M. P., Martínez, C., Álvarez, C., Caniuqueo, A., Cadore, E. L., & Izquierdo, M. (2015). Effect of Vertical, Horizontal, and Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(7), 1784-1795. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000827>
- Ramírez-Campillo, R., Gentil, P., Negra, Y., Grgic, J., & Girard, O. (2021). Effects of Plyometric Jump Training on Repeated Sprint Ability in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *51*(10), 2165-2179. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01479-w>
- Ramírez-Campillo, R., Sánchez-Sánchez, J., Romero-Moraleda, B., Yanci, J., García-Hermoso, A., & Manuel Clemente, F. (2020). Effects of plyometric jump training in female soccer player's vertical jump height: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, *38*(13), 1475-1487. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1745503>
- Ramos Veliz, R., Requena, B., Suarez-Arrones, L., Newton, R. U., & Sáez de Villarreal, E. (2014). Effects of 18-week in-season heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(4), 1007-1014. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000240>
- Redondo, J. C., Alonso, C. J., Sedano, S., & de Benito, A. M. (2014). Effects of a 12-week strength training program on experimented fencers' movement time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(12), 3375-3384. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000581>
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(2), 453-458. <https://doi.org/10.1519/R-14653.1>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Márquez, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(9), 2498-2508. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001706>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(2), 240-246. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015->

0176

- Rodríguez-Rosell, D., Torres-Torrel, J., Franco-Márquez, F., González-Suárez, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). 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. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(7), 695-699. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.010>
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a5e86>
- Sáez de Villarreal, E. S.-S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495-506. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b7c6>
- Saez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ferrete, C. (2015). Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1894-1903. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000838>
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138-143. <https://doi.org/10.1097/00003677-200207000-00008>
- Sanchez-Sixto, A., Harrison, A. J., & Floria, P. (2021). Effects of Plyometric vs. Combined Plyometric Training on Vertical Jump Biomechanics in Female Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 77(1), 25-35. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0009>
- Schmidtbleicher, D., & Buhrle, M. (1987). Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. (*Biomechanics XB (ed.)*). *Human Kinetics*.
- Shalfawi, S. A., Sabbah, A., Kailani, G., Tønnessen, E., & Enoksen, E. (2011). The Relationship Between Running Speed and Measures of Vertical Jump in Professional Basketball Players: A Field-Test Approach. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(11), 3088-3092. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318212db0e>
- Sheppard, J. M., Gabbett, T. J., & Stanganelli, L.-C. R. (2009). An analysis of playing positions in elite men's volleyball: Considerations for competition demands and physiologic characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1858-1866. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b45c6a>
- Sheppard, J. M., Gabbett, T., Taylor, K.-L., Dorman, J., Lebedew, A. J., & Borgeaud, R. (2007). Development of a repeated-effort test for elite men's volleyball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(3), 292-304. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2.3.292>
- Shi, L., & Lin, L. (2019). The trim-and-fill method for publication bias: Practical guidelines and recommendations based on a large database of meta-analyses. *Medicine*, 98(23), e15987. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015987>
- Stasinaki, A.-N., Gloumis, G., Spengos, K., Blazeovich, A. J., Zaras, N., Georgiadis, G., Karampatsos, G., & Terzis, G. (2015). Muscle Strength, Power, and Morphologic Adaptations After 6 Weeks of Compound vs. Complex Training in Healthy Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2559-2569. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000917>
- Sterne, J. A. C., Sutton, A. J., Ioannidis, J. P. A., Terrin, N., Jones, D. R., Lau, J., Carpenter, J., Rücker, G., Harbord, R. M., Schmid, C. H., Tetzlaff, J., Deeks, J. J., Peters, J., Macaskill, P., Schwarzer, G., Duval, S., Altman, D. G., Moher, D., & Higgins, J. P. T. (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ*, 343, d4002. <https://doi.org/10.1136/bmj.d4002>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(6), 501-536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
- Thapa, R. K., Lum, D., Moran, J., & Ramirez-Campillo, R. (2021). Effects of Complex Training on Sprint, Jump, and Change of Direction Ability of Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 11, 627869. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.627869>
- Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., & Ugrinowitsch, C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: Weightlifting vs. vertical jump training programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 433-437. <https://doi.org/10.1519/R-14083.1>
- Usman, T., & Shenoy, K. B. (2019). Effects of Plyometrics and Plyometrics Combined with Dynamic Stretching on Vertical Jump in Male Collegiate Volleyball Players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 8(1), 66-73. <https://doi.org/10.30472/ijaep.v8i1.367>
- Vissing, K., Brink, M., Lønborg, S., Sørensen, H., Overgaard, K., Danborg, K., Mortensen, J., Elstrøm, O., Rosenhøj, N., Ringgaard, S., Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2008). Muscle adaptations to plyometric vs. Resistance training in untrained young men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1799-1810. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318185f673>
- Washif, J.-A., & Kok, L.-Y. (2021). Relationships Between Vertical Jump Metrics and Sprint Performance, and Qualities that Distinguish Between Faster and Slower Sprinters. *Journal of Science in Sport and Exercise*. <https://doi.org/10.1007/s42978-021-00122-4>

- Zghal, F., Colson, S. S., Blain, G., Behm, D. G., Granacher, U., & Chaouachi, A. (2019). Combined Resistance and Plyometric Training Is More Effective Than Plyometric Training Alone for Improving Physical Fitness of Pubertal Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01026>
- Ziv, G., & Lidor, R. (2010). Vertical jump in female and male volleyball players: A review of observational and experimental studies. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(4), 556-567. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01083.x>

Datos de los/as autores/as:

Carlos León Muñoz
Rodrigo Ramírez Campillo
Pablo Traver Gil
Eduardo Sáez de Villarreal Sáez

carlemu@live.com
rodrigo.ramirez@unab.cl
traverpablo98@gmail.com
esaesae@upo.es

Autor/a
Autor/a
Autor/a
Autor/a

Effects of Combined Strength Training Methods on Athletes and Healthy Participants Sprint and Strength Performance: A Systematic Review and Meta-analysis of Controlled Studies

Efectos de los Métodos de Entrenamiento de Fuerza Combinados en Atletas y Participantes Saludables en el Rendimiento de Sprints y Fuerza: Una Revisión Sistemática con Metaanálisis de Estudios Controlados

*Carlos León Muñoz, **Rodrigo Ramírez Campillo, ***Pablo Traver Gil, *Eduardo Sáez de Villarreal Sáez
*Universidad Pablo de Olavide (España), **Universidad Andrés Bello (Chile), ***Universidad Católica de Valencia (España)

Abstract. The objective of this systematic review with meta-analysis was to examine the effects of combined strength training methods on sprint and Strength performance, compared to controls groups (CG). The meta-analysis included peer-reviewed articles that incorporated Combined Training (CT) groups in healthy participants and athletes, a CG, and a measure of sprint (5m, 10m, 20m and 30m) and strength (1RM squat). Using the random-effects model, effect sizes (ES; Hedge's *g*) were calculated for sprint and strength measures using means and SDs from pre- and post-tests for each dependent variable. Thirty-one studies were included, comprising 1,271 participants. CT improved sprint tests, 10m (ES = 0.67; 95% CI = 0.37 to 0.97; $p < 0.001$), 20m (ES = 0.45; 95% CI = 0.21 to 0.70; $p < 0.001$), 30m (ES = 0.46; 95% CI = 0.20 to 0.71; $p < 0.001$) and strength test, 1RM squat (ES = 1.53; 95% CI = 0.98 to 2.07; $p < 0.001$). Results based in a specific combination found a significant statistically effect type ($p = 0.010$; ES = 1.03) after PL combined with speed training compared to PL combined with strength in 30m sprint and a significant moderator effect was noted ($p = 0.013$; ES = 2.02) after PL combined with strength compared to PL combined with two or more training methods in 1RM squat. Combined strength training methods is an effective way to improve sprint and strength performance on healthy participants and athletes in comparison to control conditions.

Keywords: Agility, Speed, Acceleration, Plyometrics, Strength.

Resumen. El objetivo de esta revisión sistemática con metaanálisis fue examinar los efectos de los métodos combinados de entrenamiento de fuerza en el rendimiento de sprint y fuerza, en comparación con grupos de control (CG). El metaanálisis incluyó artículos revisados por pares que incorporaron métodos de entrenamiento combinado (CT) en participantes saludables y atletas, un CG y medidas de sprint (5m, 10m, 20m y 30m) y fuerza (1RM en sentadilla). Utilizando el modelo de efectos aleatorios, se calcularon tamaños de efecto (ES; *g* de Hedge) para las medidas de sprint y fuerza utilizando medias y desviaciones estándar de las pruebas pre y post para cada variable dependiente. Se incluyeron 31 estudios, con un total de 1,271 participantes. El CT mejoró las pruebas de sprint, 10m (ES = 0.67; IC del 95% = 0.37 a 0.97; $p < 0.001$), 20m (ES = 0.45; IC del 95% = 0.21 a 0.70; $p < 0.001$), 30m (ES = 0.46; IC del 95% = 0.20 a 0.71; $p < 0.001$) y la prueba de fuerza, 1RM en sentadilla (ES = 1.53; IC del 95% = 0.98 a 2.07; $p < 0.001$). Los resultados basados en una combinación específica encontraron un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.010$; ES = 1.03) después del CT combinado con entrenamiento de velocidad en comparación con el CT combinado con fuerza en el sprint de 30m, y se observó un efecto moderador significativo ($p = 0.013$; ES = 2.02) después del CT combinado con fuerza en comparación con el CT combinado con dos o más métodos de entrenamiento en 1RM en sentadilla. Por lo tanto, los métodos combinados de entrenamiento son una forma efectiva de mejorar el rendimiento de Csprint y fuerza en participantes saludables y atletas en comparación con condiciones de control.

Palabras clave: Agilidad, velocidad, aceleración, pliometría, fuerza

Fecha recepción: 12-03-24. Fecha de aceptación: 24-04-24

Carlos León Muñoz
carlemu@live.com

Introduction

Actions of short-duration and maximal-effort, such as sprinting, characterized by being strength-power actions are decisive in different team sports (e.g., soccer, basketball). Faude et al., (2012) analysed 360 goals in the first German national league through video analysis. Of all the goals analysed, 45% of the players who scored a goal performed a straight sprint before scoring and most of them were scored without the ball and without an opponent. Also, the most frequent action for the assistant player in the goal actions was the sprint, in which most of them were carried out with the ball. Sprint-time comparisons among studies suggest professional players in the top European soccer leagues sprint relatively faster than professional players in lesser level soccer nations leagues (Haugen et al., 2014; Haugen et al., 2012, 2013). In 20m sprints differences of ~0.04-0.06 s (equivalent to 30-50cm) can be decisive in many sports in actions such as 1vs 1 duels where a position

ahead of the opponent, with a shoulder forward or the body in front of the opponent allows to have a slight advantage (Haugen et al., 2014). It is important to achieve this increase in speed with respect to the opponent both in offensive and defensive positions because it can create an advantage or a space if the player is an attacker as well as eliminate an advantage or close a space to the opponent in a defensive position (Haugen et al., 2014; Vigne et al., 2010). Therefore, the chances of success will be increased with a greater capacity for acceleration and maximum speed.

Improving the sprint and strength-power performance does not depend on a single factor, but rather it depends on the combination of several factors that are interacting with each other. These factors include rate of force development, maximal force capacity, muscle coordination and stretch shortening cycle (SSC) use (Arabatzis et al., 2010; Fatouros et al., 2000). To improve sprint and strength performance, the use of different types of training has been studied. Among these methods we find plyometrics (PL),

resistance training (RT), muscle electrostimulation (EMS), speed training, change of direction (COD) among others (Magyarosy & Schnizer, 1990; Sáez de Villarreal et al., 2013, 2015; Sáez de Villarreal et al., 2012; Sáez-Sáez de Villarreal et al., 2010; Włodarczyk et al., 2021).

It has been observed that there is a high correlation between sprinting, vertical jumping and change of direction with levels of strength, power and rate of force development (RFD) (Swinton et al., 2014). Specifically in football players, it has been found in a review of the literature that they need high levels of muscular strength in the lower body to be able to perform high-intensity actions more efficiently and with better results (Prieto et al., 2020; Suchomel et al., 2016). It has been demonstrated that strength and speed are key physical qualities for team sports in which power is a priority, such as football (Gissis et al., 2006; Reilly et al., 2000). Because of this phenomenon, strength and speed are considered predictors of success (Kaplan et al., 2009; Mujika et al., 2009). Finally, it is necessary to add that among the different methods that will be discussed below, the most commonly used training methods to improve both speed and strength are PL training, RT and overload sprint (Ramos & López, 2016).

Resistance training is the most commonly used exercise intervention for increasing muscular strength. RT is understood as a specialised form of training where individuals work against resistance provided by body weight or an external load in the form of free weights, medicine balls, elastic bands or weight machines in a controlled manner and eccentric/concentric actions (American College of Sports Medicine, 2009; Lloyd et al., 2014; Vissing et al., 2008) In the last decade, it has begun to be sought that the movements that are integrated into the RT are carried out with the intention of moving the external load as fast as possible (Franco-Márquez et al., 2015; McBride et al., 2002; Rodríguez-Rosell et al., 2017). The benefits obtained from RT in athletes includes increased ground reaction force generation capability, impulse (Aagaard et al., 2002) and RFD, therefore RT methods are highly used by coaches and researchers (Aagaard et al., 2002; Hoff et al., 2002; Hoff & Helgerud, 2004). After the application of a RT intervention these mentioned adaptations are attributed to increased strength, enhanced recruitment of motor units and increased firing rate of motor neurons (Häkkinen et al., 1984; Komi, 1986; Schmidtbleicher & Buhrle, 1987). One commonly employed field-based assessment of strength is the one-repetition maximum (1RM) test. As its name implies, the 1RM represents the maximum weight an individual can lift for a single repetition while maintaining proper lifting form (Grgic et al., 2020). The PL is a training method that is performed through jumping, hopping and bounding exercises both bilaterally and unilaterally, involving brief foot-ground contact times (e.g., short SSC movements) around 100-250 ms (i.e. high or long jumps) and long SSC characterized by duration greater than 250ms (i.e. CMJ) (Cormie et al., 2011b). The use of PL with male and female soccer players has been shown to improve muscular

power, maximal strength, sprinting and acceleration capabilities (Ramírez-Campillo et al., 2020, 2021; Ramírez-Campillo et al., 2015). Additional training methods such as electrostimulation program or COD have shown to be useful in improving strength and speed performance (Babault et al., 2007; Beato et al., 2018; Filipovic et al., 2011). EMS involves artificially activation of the muscle offer neuromuscular stress and time-efficient benefits (Maffiuletti et al., 2009). Efficiently changing direction is crucial for success in multidirectional sports, where athletes encounter a diverse range of angles and approach velocities during sporting activities (Dos'Santos et al., 2018). Because each method obtains some benefits and all of them are interesting to improve the athlete's performance, combining several methods within the same training session seems to be an interesting idea for the organization of the training session. It has been shown that the combination of PL with RT within the same training session can produce greater increases in performance in speed (Fathi et al., 2019; Guadalupe-Grau et al., 2009) and strength (Guadalupe-Grau et al., 2009; Ronnestad et al., 2008). Combining RT with PL training has become an increasingly popular training method, since it has been shown in different studies that it obtains better results for power improvement when compared to the use of PL or RT in isolation (Adams et al., 1992; Fatouros et al., 2000; Zghal et al., 2019). Since the performance of the sprint cannot be attributed to a single component, but will depend on the combination of several, using a single method will not be as effective as combining several training methods to provide variation in stimulus and to increase the overall training adaptation (Haugen et al., 2014, 2019).

Due to the inconsistencies reported in the literature, with positive (ES = 4.19; 2.16; 2.22; 2.23) (Arede et al., 2019; Guadalupe-Grau et al., 2009; Hammami et al., 2019; Tricoli et al., 2005) and negative results (ES = -0.97; -0.345) (Perez-Gomez et al., 2008; Tricoli et al., 2005), due to the limitation of the sample size of the intervention study (simple size = 5; 6) (Alvarez et al., 2012; Redondo et al., 2014) and the lack of meta-analysis. Moreover, because so far, the systematic review and meta-analyses that have been done to date have analysed the combination of PL and strength within the same session, but only one systematic review has been found that analyses the combination of PL training with more than one methodology of training (speed, mobility, balance, etc.) (Ribeiro et al., 2021). For this reason, the idea of carrying out a systematic review with meta-analysis is because a meta-analysis seems to be necessary in order to have more evidence about whether it is interesting to combine several training methodologies within the same session. A meta-analysis can also provide valuable information for scientists and professionals to detect gaps and limitations related to PL combined with other training methods, providing suggestions to future avenues of research. However, to the authors' knowledge, so far, no review has attempted to meta-analyse the large number of studies available in the literature despite the great potential that can be obtained from the combination of PL with other

methodologies of training in Sprint and strength performance. Therefore, the primary aim of this systematic review with meta-analysis was to examine the effects of PL combined with additional training methods (e.g., strength, speed, COD, EMS) on sprint and strength performance, compared with active/passive controls groups.

Methods

A systematic review with meta-analysis was conducted following the guidelines of the Cochrane Collaboration (Cumpston et al., 2019). Findings were reported in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Liberati et al., 2009).

Table 1.
Inclusion and exclusion criteria for studies at the selection stage of the systematic review.

Category	Inclusion criteria	Exclusion criteria
Population	Studies with no restriction of population were considered for inclusion with no age or sex restrictions.	Participants with health problems (e.g., injuries, recent surgery), the intervention was not performed in humans.
Intervention	Studies with experimental groups performing a combination of training methods (e.g., plyometric combined strength).	Studies that do not perform comparison between plyometric training, strength training, or a combination of these training methods; used the complex training methodology; The duration of the intervention was less than three weeks; The training program that had been carried out was not clearly shown; used supplements; the training effect was acute; combined plyometrics with aerobic training.
Comparator	Traditional control group (i.e., athletes participating in regular training schedules) or specific control group (perform a specific training)	Absence of control group.
Outcome	At least one measure related to physical fitness (e.g., 10m sprint tasks) before and after the training intervention.	Lack of baseline and/or follow-up data; The results were not displayed clearly; the article was not in full text
Study design	Multi-arm trials.	Single-arm trials/observational studies.

Study Selection and Data Collection Process

Database searches were performed independently by 2 authors (C.L.M., and E.S.S.). After the removal of duplicates, abstracts were screened, and studies not related to the review's topic were excluded. The remaining articles that were not initially discarded were read. Then, independently, and blindly, 2 reviewers selected the studies for inclusion (C.L.M. and E.S.S.), according to the inclusion and exclusion criteria. If no agreement was achieved, a third party intervened (R.R.C.).

The current review focused on the physical fitness of athletes as the main outcome. Since strength and power characteristics are crucial during various athletic movements, measures of physical fitness were considered but not limited to: (1) maximal strength (1 repetition maximum), (2) linear sprinting (i.e., time; velocity). In cases where the required data were not clearly or completely reported, the authors of the study were contacted for clarification. If no response was obtained from the authors (after one attempts), or if the authors could not provide the requested data, the study outcome was excluded from further analysis. If data were only displayed in the form of figures but not tables, the study outcome was excluded from further analysis.

Data were extracted from the included studies using a form created in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Extracted data included the following information: the first author's name, year of publication, number of participants per group. We also extracted

Search Strategy

The electronic search was conducted on the following electronic databases: PubMed, and Web of Knowledge. It considered articles published up until July 2021. The following keywords, combined in pairs (e.g., "Plyometric" AND "combined"), were introduced in the selected databases: "plyometric", "combined", "plyometrics", "stretch-shortening cycle", "strength", "strength training", "resistance training" "sprint", "speed", "change of direction", "agility", "balance", "flexibility", "mobility" "electrostimulation", "surface electrostimulation"

Inclusion and Exclusion Criteria

The inclusion and exclusion criteria are detailed in Table 1.

data regarding the participants' sex, age (years), body mass (kg), height (m), and previous RT/PL experience. If applicable, the type and level (e.g., professional, amateur) of sport practice were also extracted. Regarding programming parameters, we reported weekly frequency of training (days/week), duration (weeks).

Risk of Bias Assessment (Study Quality)

The methodological quality of selected studies that contained a control group was assessed with the Cochrane risk of bias tool (Higgins et al., 2011). Bias and study quality were assessed by (C.L.M., and E.S.S.) with any disagreements resolved by a third reviewer (R.R.C.). No studies were eliminated based on methodological quality regardless of the score obtained. The assessment for each of the 7 items includes the answer to a question. In response to this question, the term "Yes" was assigned when there is a low risk of bias, the term "No" was assigned when there is a high risk of bias and "Unclear" when there is not enough information. This evaluation scale has already been used by other reviews in this field using the same evaluation criteria (Cormier et al., 2020).

Summary Measures, Synthesis of Results, and Publication Bias

Studies were meta-analytically aggregated if three or more relatively homogeneous studies were available for the same outcome measure. Effect sizes (ES; Hedge's *g*) were calculated for jumping measures using means and SDs from

pre- and post-tests for each dependent variable. For studies that reported standard error, SDs were calculated by multiplying the standard error with the square root of the sample size (Lee et al., 2015). Data were standardized using post-intervention SD values. The random-effects model was used to account for differences between studies that might affect the intervention effects (Deeks et al., 2008; Kontopantelis et al., 2013). The ES values were presented with 95% confidence intervals (95% CIs). The ES magnitudes were interpreted using the following scale: <0.2, trivial; 0.2-0.6, small; >0.6-1.2, moderate; >1.2-2.0, large; >2.0_4.0, very large; >4.0, extremely large (Hopkins et al., 2009). In studies including more than one intervention group, the sample size of the active and specific-active control group was proportionately divided to facilitate comparisons across multiple groups (Deeks et al., 2008). The impact of study heterogeneity was assessed using the I² statistic, with values of <25%, 25-75%, and >75% representing low, moderate, and high levels, respectively (Higgins & Thompson, 2002). The risk of reporting bias was explored (with at least 10 studies) (Sterne et al., 2011) using the Egger's test (Egger et al., 1997), with $p < 0.05$ implying bias. To adjust for risk of reporting bias, a sensitivity analysis was conducted using the trim and fill method (Duval & Tweedie, 2000), with L_0 as the default estimator for the number of missing studies (Shi & Lin, 2019). All analyses were carried out using the Comprehensive Meta-Analysis software (Version 2.0; Biostat, Englewood, NJ, USA). The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

The initial search yielded 1,271 articles from databases

and 11 from other sources. After duplicates removal, 333 remained and were screened by titles and abstracts. The remaining articles were screened based on the inclusion and exclusion criteria. After the study selection process, 31 studies were included (Figure 1).

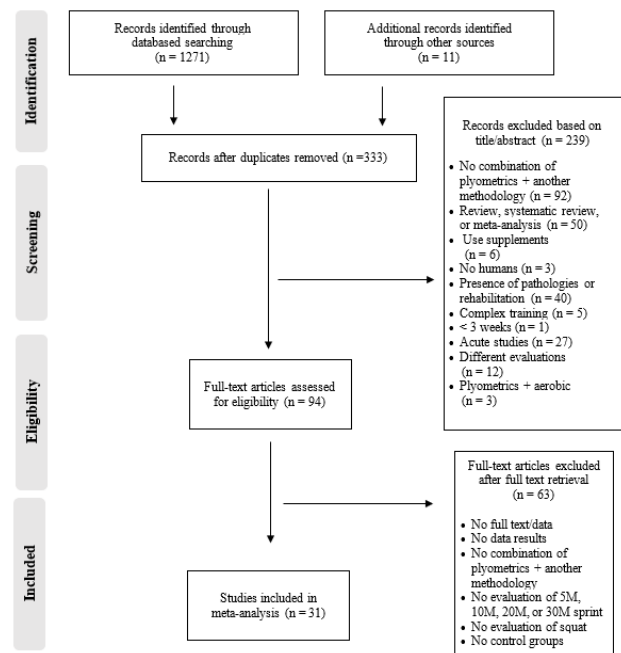


Figure 1. Flow diagram for the different stages of the systematic review process.

General characteristics of studies

The basic characteristics of the participants and the programming parameters of the combined interventions from the included studies are displayed in (Table 2).

Table 2.

Methodological quality. Risk of bias table: review of author's judgments about risk of bias item across all included studies (studies with control group)

	Random sequence generation (Selection bias)	Allocation concealment (Selection bias)	Blinding of participants and personnel (Performance bias)	Blinding of outcome assessment (Detection bias)	Incomplete outcome data (Attrition bias)	Selective reporting (Reporting bias)	Other bias
Álvarez 2012	+	-	-	-	+	+	+
Arede 2019	-	-	-	-	+	+	+
Boutraa 2018	+	-	-	-	+	+	+
Chaouachi 2014	+	-	-	-	+	+	+
Falces 2021	+	-	-	-	+	+	+
Fathi 2019	+	-	-	-	+	+	+
Fatouros 2000	-	-	-	-	+	+	+
Faude 2013	+	-	-	-	+	+	+
Franco 2015	-	-	-	-	+	+	+
Guadalupe 2009	+	-	-	-	+	+	+
Hammami 2018	+	-	-	-	+	+	+
Herrero 2010	+	-	-	-	+	+	+
Kargafard 2020	-	-	-	-	+	+	+
Kijowski 2015	+	-	-	-	+	+	+
Lyttlee 1996	+	-	-	-	+	+	+
Makhlouf 2018	+	-	-	-	+	+	+
Newton 1999	+	-	-	-	+	+	+
Otero 2017	-	-	-	-	+	+	+
Peña 2019	-	-	-	-	+	+	+
Pérez-Gómez 2008	+	-	-	-	+	+	+
Pienaar 2013	+	-	-	-	+	+	+
Qi 2019	+	-	-	-	+	+	+

Ramos 2014	+	-	-	-	+	+	+
Redondo 2014	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2016	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Rodríguez 2017	+	-	-	-	+	+	+
Ronnestad 2008	+	-	-	-	+	+	+
Sáez de Villarreal 2015	+	-	-	-	+	+	+
Tricoli 2005	+	-	-	-	+	+	+
Zghal 2019	+	-	-	-	+	+	+

Study quality

The methodological quality of eligible studies is shown in Table 3. All studies should be considered at high risk of bias. Likewise, the overall assessment should be high risk of bias. Most studies (25/31, 70%) were at low risk of bias

arising from randomization, and all studies had low risk of attrition bias, reporting bias, and other bias. High risk of performance and detection bias was found for every study, and high risk of selection bias was detected for most studies, there was only one exception.

Table 3. Characterization of participants groups and training interventions.

	N° subjects	Age (year)	Weight (kg)	Height (cm)	Gender	Years' exp	Strength exp	Fit	Group level	Sport	Treatment	Duration	N° sessions	Test
Álvarez 2012	5	24.2	68.09	171.9	M	7.9	NR	NR	Reg	Golf	PL+RT	6	12	SQ
Arede 2019	9	14	56.2	165	M	5	YES	Good	Reg	Bask	PL+RT+SP+COD+BAL	8	32	10M
Bouteraa 2018	16	16	56.6	168	W	NR	NR	NR	REG	Bask	PL+BA	8	16	5M, 10M, 20M
Chaouachi 2014	14	13	45.9	158	M	0	NO	Re	No ath	No sport	PL+BA	8	24	5M, 30M
Falces Prieto 2021a	15	14.2	56.9	169	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	10M, 20M
Falces prieto 2021b	15	17.2	65.3	171	M	5	NR	Elite	Reg	Soc	PL+SP	8	16	10M, 20M
Fathi 2019	20	14.7	68.7	177	M	NR	NR	Elite	Na	Vol	PL+RT	16	32	5M, 10M
Fatouros 2000	10	20	79.9	178	M	NR	NO	NR	NR	NR	PL+RT	12	36	SQ
Faude 2013	8	23.1	78.9	183	M	10	NR	Re	Reg	Soc	PL+RT+SP	7	14	10M, 30M, SQ
Franco-Márquez 2015	20	14.7	60.3	171	M	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Guadalupe 2009a	20	23.13	69.5	174.7	M	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT	9	27	30M, SQ
Guadalupe 2009b	8	22.3	61.7	168.5	W	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT	9	27	30M, SQ
Hammami 2018	14	14	69.3	178	M	4	YES	Elite	Na	Hand	PL+SP+COD	6	12	5M, 10M, 20M, 30M
Herrero 2010	11	21	80.2	179	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT+EL	4	16	20M
Herrero 2010	8	21	79	172	M	0	NR	NR	No ath	No sport	PL+RT	4	16	20M
Kargafard 2020a	9	18	64.2	173	NR	NR	NR	Elite	Na	Soc	PL+SP+COD	6	12	30M
Kargafard 2020b	8	18	63.1	177	NR	NR	NR	Elite	Na	Soc	PL+ SP+COD	6	12	30M
Kijowski 2015	9	21.2	79.5	182	M	NR	YES	NR	NR	No sport	PL+RT	4	8	SQ
Lyttlee 1996	11	24	72.5	178	M	NR	NO	NR	RE	Mix	PL+RT	8	16	20M, SQ
Makhlouf 2018a	20	11	36.6	147	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+COD	8	16	10M, 30M
Makhlouf 2018b	21	11	36.9	145	M	3	NR	Elite	Na	Soc	PL+ BA	8	16	10M, 30M
Newton 1999	8	19	84	189	M	5	YES	Elite	Na	Vol	PL+RT	8	16	SQ
Otero-Esquina 2017a	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT+SP	7	7	10M, 20M
Otero-Esquina 2017b	12	17	69.4	176.7	NR	NR	NR	Elite	Inter	Soc	PL+RT+SP	7	14	10M, 20M
Peña 2019a	43	12.8	45.4	154.9	M	NR	YES	Good	Na	Soc	PL+RT	8	16	30M, SQ
Peña 2019b	36	13.8	55.8	165.9	M	NR	YES	Good	Na	Soc	PL+RT	8	16	30M, SQ
Peña 2019c	31	14.6	62.3	171.9	M	NR	YES	Good	Na	Soc	PL+RT	8	16	30M, SQ
Pérez-Gómez 2008	16	23.4	71.2	174.9	NR	NR	NR	NR	NR	NR	PL+RT	6	18	5M, 10M, 20M, 30M, SQ

Pienaar 2013	19	18.94	89.96	183.38	M	11	NR	Re	Na	Rug	PL+RT	4	12	5M, 10M, 20M
Qi 2019	31	10.6	37.5	142.9	NR	NR	NR	Re	NR	NR	PL+RT+SP	4	8	30M
Ramos Veliz 2014	16	20.43	81.43	180.33	M	8	NR	Good	Na	Wat	PL+RT	18	36	SQ
Redondo 2014	6	24.8	70.46	173.3	M	9.7	NR	NR	Na	Fen	PL+RT	6	12	SQ
Rodríguez-Rosell 2016	15	12.7	47.6	158	NR	3	NO	Good	NR	Soc	PL+RT+SP	6	12	10M, 20M,
Rodríguez-Rosell 2017a	10	24.5	74.5	176	NR	8	NO	Re	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Rodríguez-Rosell 2017b	15	12.6	46.3	158	NR	2	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Rodríguez-Rosell 2017c	14	14.6	59.6	170	NR	4	NO	Elite	Reg	Soc	PL+RT+SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Rodríguez-Rosell 2017d	14	16.4	69.1	172	NR	6	NO	NR	Reg	Soc	PL+RT+ SP+COD	6	12	10M, 20M, SQ
Ronnestad 2008	8	24	73.5	180	M	NR	YES	Elite	Na	Soc	PL+RT	7	14	10M, SQ
Sáez de Villarreal 2015	13	15	57	168	NR	6	NR	Good	Na	Soc	PL+SP	9	18	5M, 10M
Tricoli 2005	8	22	73.4	179.4	M	NR	YES	Re	Amat	NR	PL+RT	8	24	10M, 30M, SQ
Zghal 2019	14	14.5	60.2	172	NR	5	NO	Good	Reg	Soc	PL+RT + SP	7	14	5M, 10M, 20M

Abbreviation's descriptions ordered alphabetically. Avalakov: AVA; Amat: Amateur; Balance: BA; Basketball: Bask; B: Both; Change of direction: COD; Electrostimulation: EL; Exp: Experience; F:Female; Fencing: Fen; Fit: Fitness; Flexibility: FL; Handball: hand; Int: International, M: Male; Mixed sports: Mix; Na: Nacional; No athletes: No ath; NR: No report; PL: Plyometrics; Reg: Regional, Re: Regular; RT: Resistance training; Rugby: Rug; Soccer: Soc; Speed: SP; Squat: SQ; Track and Field: Tra; volleyball: Vol, Water polo: War,

Meta-Analyses

Eight studies provided data for 5-m sprint performance, involving 8 experimental and 8 CG (pooled n = 240). Results showed a small non-significant effect of trained participants on 5-m sprint performance (ES = 0.39; 95% CI = -0.25 to 1.04; p < 0.228; I² = 83.1%; Figure 2) when compared to controls.

Results were not analysed as per athlete's involvement in specific-active or traditional-active CG, as only one study included specific-active control condition.

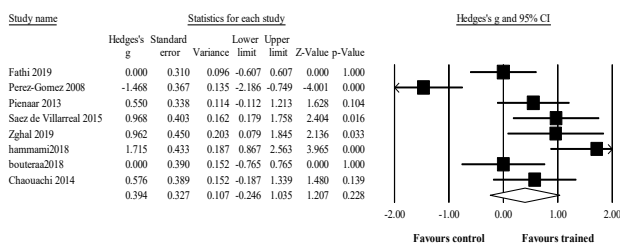


Figure 2. 5m. Forest plot of changes in 5-m sprint performance, in athletes participating in plyometric jump training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The white rhomboid reflects the overall result.

Eighteen studies provided data for 10-m sprint performance, involving 23 experimental and 21 CG (pooled n = 595). Results showed a moderate effect of trained participants on 10-m sprint performance (ES = 0.67; 95% CI = 0.37 to 0.97; p < 0.001; I² = 66.6%; Figure 3 when compared to controls.

Results were not analysed as per athlete's involvement in specific-active or traditional-active CG, as only one study

included specific-active control condition.

No significant moderator effect was noted for training combination-type (p = 0.682), with an ES = 0.61 after PL training combined with an additional training method (12 data points; I² = 72.9) and an ES = 0.73 after PL training combined with two or more training methods (11 data points; I² = 60.1%).

No significant moderator effect was noted for training combination-type (p = 0.263), with an ES = 1.01 after PL training combined with speed training (5 data points; I² = 60.0), an ES = 0.32 after PL training combined with RT (7 data points; I² = 73.7%), and an ES = 0.73 after PL training combined with 2 or more training methods (11 data points; I² = 60.1%).

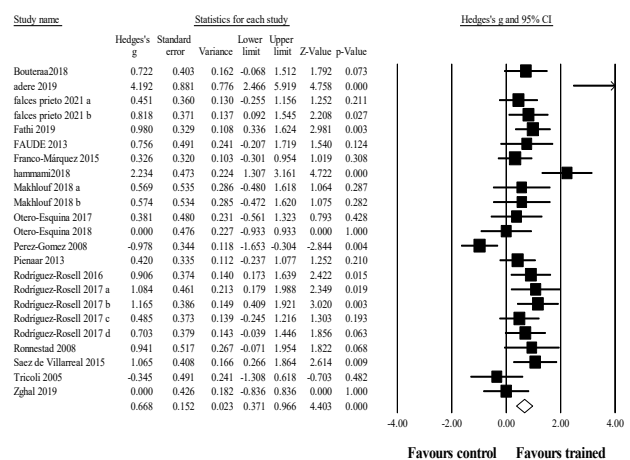


Figure 3. Forest plot of changes in 10-m sprint performance, in athletes participating in plyometric jump training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The white rhomboid reflects the overall result.

Twelve studies provided data for 20-m sprint performance, involving 18 experimental and 16 CG (pooled n = 464). Results showed a small effect of trained participants on 20-m sprint performance (ES = 0.45; 95% CI = 0.21 to 0.70; $p < 0.001$; $I^2 = 43.3\%$; Figure 4) when compared to controls.

Results were not analysed as per athlete's involvement in specific-active or traditional-active CG, as no study included specific-active control condition.

No significant moderator effect was noted for training combination-type ($p = 0.139$), with an ES = 0.25 after PL combined with an additional training method (9 data points; $I^2 = 59.9$) and an ES = 0.63 after PL combined with two or more training methods (9 data points; $I^2 = 0.0\%$).

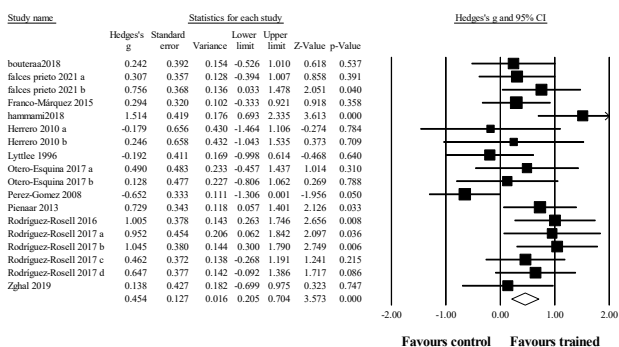


Figure 4. 20m. Forest plot of changes in 20-m sprint performance, in athletes participating in plyometric jump training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The white rhomboid reflects the overall result.

Ten studies provided data for 30-m sprint performance, involving 15 experimental and 12 CG (pooled n = 437). Results showed a small effect of trained participants on 30-m sprint performance (ES = 0.46; 95% CI = 0.20 to 0.71; $p < 0.001$; $I^2 = 25.9\%$; Figure 5) when compared to controls.

Results were not analysed as per athlete's involvement in specific-active or traditional-active CG, as no study included specific-active control condition.

A significant moderator effect was noted for training combination-type ($p = 0.010$), with an ES = 1.03 after PL training combined with speed training (4 data points; $I^2 = 11.8$) and an ES = 0.22 after PL training combined with RT (9 data points; $I^2 = 0.0\%$).

Fifteen studies provided data for maximal squat performance, involving 21 experimental and 19 CG (pooled n = 547). Results showed a large effect of trained participants on maximal squat performance (ES = 1.53; 95% CI = 0.98 to 2.07; $p < 0.001$; $I^2 = 85.2\%$; Figure 6) when compared to controls.

Results were not analysed as per athlete's involvement in specific-active or traditional-active CG, as only 2 studies included specific-active control conditions. A significant moderator effect was noted for training combination-type

($p = 0.013$), with an ES = 2.02 after PL training combined with RT (15 data points; $I^2 = 89.2$) and an ES = 0.90 after PL training combined with two or more training methods (6 data points; $I^2 = 0.0\%$).

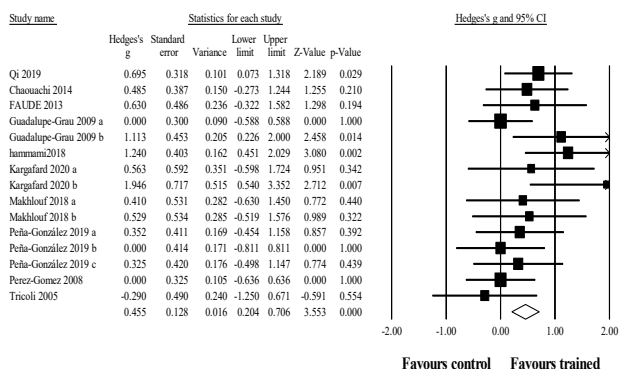


Figure 5. 30m. Forest plot of changes in 30-m sprint performance, in athletes participating in plyometric jump training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The white rhomboid reflects the overall result.

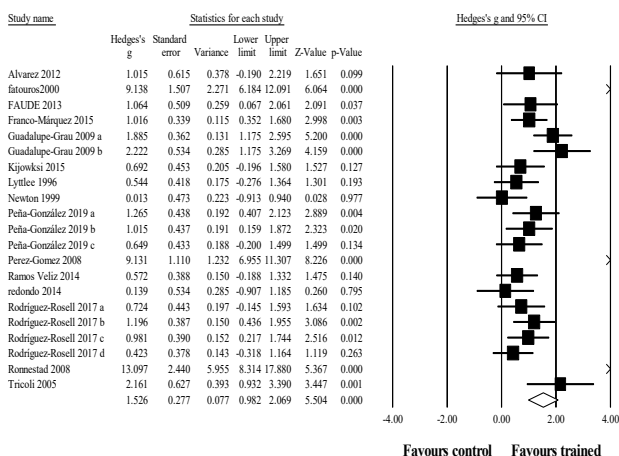


Figure 6. Squat. Forest plot of changes in maximal squat performance, in athletes participating in plyometric jump training compared to controls. Values shown are effect sizes (Hedges's g) with 95% confidence intervals (CI). The size of the plotted squares reflects the statistical weight of the study. The white rhomboid reflects the overall result.

Discussion

The purpose of this meta-analysis was to determine the effects of CT in comparison to control conditions on speed and strength performance. We found that CT can be employed to improve performance in sprint time and Lower body 1RM (squat). In addition, we aimed to identify training characteristics that may have a greater moderating effect. The main findings indicate that there were statistically significant differences between CT and CG. CT had positive moderate effects on 10m sprint ES=0.67; small effects on 20m sprint ES=0.45; small effects on 30m sprint ES=0.46; and large effects on 1RM squat ES=1.53 compared to control conditions. This implies CT does significantly affect

performance in healthy and sport population.

When results were analysed as per athletes' involvement in PL training combined with one compared with two or more training methods no significant moderator effects were found in 10m and 20m. Also, no significant moderator effects were found in 10m when results were compared between PL combined with speed training or PL combined with RT or PL combined with 2 or more training methods, this result suggests that sport scientists and strength and conditioning professionals may use either combination method to achieve positive adaptations on neuromuscular performance variables in sport and healthy population. Interestingly, significant improvements in sprinting performance (30m) were observed after combining PL with speed compared PL with RT, it is plausible that higher volumes or changes in sprint stimulus are needed to elicit adaptations on athletes and healthy participants over the studies that did not have a sprint stimulus (Hammami et al., 2019; Makhoulouf et al., 2018; Prieto et al., 2021; Saez de Villarreal et al., 2015). The same results occurs in 1RM squat where significant moderator effects after combining PL with RT (Alvarez et al., 2012; Fatouros et al., 2000; Guadalupe-Grau et al., 2009; Peña-González et al., 2019; Ronnestad et al., 2008; Tricoli et al., 2005) were observed compared with PL combined with two or more methods. These findings suggest training specificity plays a key role in the improvement of speed and strength. Although indirectly, improvements in speed were obtained in the groups that worked PL plus RT (Bouteraa et al., 2020; Fathi et al., 2019; Perez-Gomez et al., 2008; Pienaar & Coetzee, 2013; Ronnestad et al., 2008) and improvements in strength in the groups that trained PL plus two or more methodologies (Fauze et al., 2013; Franco-Márquez et al., 2015; Rodríguez-Rosell et al., 2016, 2017). The improvements were greater for the groups that worked this quality specifically. This supports the hypothesis that the combination of different methods within the same session could be an important solution to work on all the qualities and be able to develop them in an optimal way. The results of this meta-analysis provides confirmation to previous narrative reviews (Bauer et al., 2019; Cormier et al., 2020; Thapa et al., 2021) on the effects of PL training combined with RT training for the improvement of strength and speed.

The improvements obtained in strength and speed performance after the application of a CT program may be due to both mechanical and physiological adaptations similar to those obtained with a PL or RT program, but these improvements may be enhanced if they are combined in the same training (Carter & Greenwood, 2014; Robbins, 2005; Sale, 2002). Within these adaptations, we can find them at the hormonal level (e.g., testosterone increase) (Ali et al., 2019; Beaven et al., 2011) and cellular adaptations favourable to strength-power generation. In addition, at the level of structural adaptations, it has been reported that after 19 weeks of RT alone, the number of type IIx fibers was reduced (Stasinaki et al., 2015), type IIx fibers are the fibers that contract at higher speed and therefore they are capable

of generating higher levels of power and therefore important during maximal-intensity and short-duration actions (e.g., acceleration and sprint) (Bottinelli et al., 1996; Fry et al., 2003; Harridge et al., 1996; Macaluso et al., 2012). Against it was seen that after a program that includes CT these are preserved compared to a RT program (Stasinaki et al., 2015). Other studies that have included PT or CT obtained similar results (Grgic et al., 2021; Macaluso et al., 2012, 2014). A greater recruitment of fast-twitch muscle fibers was also seen during CT, possibly due to the combination of high loads at low speed with low loads at high speed (Gołaś et al., 2016). In addition, CT can help to produce a better coordination and synchronization of the muscle groups that are developing the action to improve and enhance motor skills, this can be seen by a better transfer of energy in the concentric and eccentric phase of muscle movement (Cronin et al., 2001; Robbins, 2005). The improvements of these adaptations will therefore improve speed, jumping and agility (Cavaco et al., 2014; García-Pinillos et al., 2014). From another point of view, CT can lead to optimize the strength-velocity curve of the athlete due to the fact that low loads (i.e., PL) are combined with high loads (i.e., RT) (Cormie et al., 2011a). In this way, when prescribing this training, the coach ensures that the athlete has worked on the two broad components of the continuum. Due to the importance of the force-velocity spectrum parameters (Jiménez-Reyes et al., 2022), it can be thought that these performance improvements obtained after CT can be understandably believed to be due to an optimization of the force-velocity spectrum. The results from our meta-analysis may offer a positive finding amongst a wider population of athletes.

Some limitations are acknowledged. First, a high heterogeneity was observed in the studies included in this analysis as they had different populations and training characteristics. Secondly, the findings of our systematic review suggest the absence of CT studies involving female, only two studies (Bouteraa et al., 2020; Guadalupe-Grau et al., 2009). Therefore, current findings should not be simply extrapolated to female athletes. Future CT research should involve females to overcome this shortcoming in literature. Another major shortcoming noted in this systematic review is there was a greater amount of plyometric combined strength studies included compared with plyometric combined with other methodologies (e.g., speed, COD, three or more methods combined).

Our results substantiate our hypothesis that PL training combined enhances Strength and Speed compared to CG. Although the heterogeneity observed among the studies was high. However, three of four speeds tests and strength test improve significantly after the combined interventions. From an applied perspective, CT may be used to achieve positive adaptations on neuromuscular performance variables in athletes. This may be of interest for coaches and athletes seeking a more time-efficient way to incorporate lower-load and higher-load exercises in their training program (Bauer et al., 2019; Cormier et al., 2020).

Conclusion

Combined strength training is effective to improve sprint time and strength on healthy participants and athletes. Likewise, compared to PL combined with RT, the combination of PL with speed training is more effective to improve sprinting performance (30m). Further, combining PL with strength training appears to provide greater improvements in maximal strength (1RM squat) compared to PL combined with other (two or more) training methodologies not focused on strength gains. However, the role of potential moderator variables such as frequency, duration, or total number of sessions, and the specific dose-response relationships following combined training, particularly in the long term, are unclear at present.

Acknowledgments

The authors have no conflicts of interest to disclose.

References

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 93(4), 1318-1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>
- Adams, K., O'Shea, J. P., O'Shea, K. L., & Climstein, M. (1992). The Effect of Six Weeks of Squat, Plyometric and Squat-Plyometric Training on Power Production. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(1), 36-41.
- Ali, K., Verma, S., Ahmad, I., Singla, D., Saleem, M., & Hussain, M. E. (2019). Comparison of Complex Versus Contrast Training on Steroid Hormones and Sports Performance in Male Soccer Players. *Journal of Chiropractic Medicine*, 18(2), 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2018.12.001>
- Aloui, G., Hermassi, S., Hayes, L. D., Bouhafs, E. G., Chelly, M. S., & Schwesig, R. (2021). Loaded Plyometrics and Short Sprints with Change-of-Direction Training Enhance Jumping, Sprinting, Agility, and Balance Performance of Male Soccer Players. *Applied Sciences*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/app11125587>
- Alvarez, M., Sedano, S., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2012). Effects of an 18-week strength training program on low-handicap golfers' performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 1110-1121. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822dfa7d>
- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687-708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Arabatzi, F., Kellis, E., & Saèz-Saèz De Villarreal, E. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2440-2448. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e274ab>
- Arede, J., Vaz, R., Franceschi, A., Gonzalo-Skok, O., & Leite, N. (2019). Effects of a combined strength and conditioning training program on physical abilities in adolescent male basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(8), 1298-1305. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08961-2>
- Babault, N., Cometti, G., Bernardin, M., Pousson, M., & Chatard, J.-C. (2007). Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 431-437. <https://doi.org/10.1519/R-19365.1>
- Bauer, P., Uebellacker, F., Mitter, B., Aigner, A. J., Hasenoechl, T., Ristl, R., Tschan, H., & Seitz, L. B. (2019). Combining higher-load and lower-load resistance training exercises: A systematic review and meta-analysis of findings from complex training studies. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(7), 838-851. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.01.006>
- Beato, M., Bianchi, M., Coratella, G., Merlini, M., & Drust, B. (2018). Effects of Plyometric and Directional Training on Speed and Jump Performance in Elite Youth Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 289-296. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002371>
- Beaven, C. M., Gill, N. D., Ingram, J. R., & Hopkins, W. G. (2011). Acute salivary hormone responses to complex exercise bouts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1072-1078. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf4414>
- Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: Myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of Physiology*, 495 (Pt 2), 573-586. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1996.sp021617>
- Bouteraa, I., Negra, Y., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2020). Effects of Combined Balance and Plyometric Training on Athletic Performance in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(7), 1967-1973. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002546>
- Carter, J., & Greenwood, M. (2014). Complex Training Reexamined: Review and Recommendations to Improve Strength and Power. *Strength & Conditioning Journal*, 36(2), 11-19. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000036>
- Cavaco, B., Sousa, N., Dos Reis, V. M., Garrido, N., Saavedra, F., Mendes, R., & Vilaça-Alves, J. (2014). Short-term effects of complex training on agility with the ball, speed, efficiency of crossing and shooting in youth soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 43, 105-112. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0095>
- Chaouachi, A., Othman, A. B., Hammami, R., Drinkwater, E. J., & Behm, D. G. (2014). The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 401-412. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182987059>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(2), 125-146. <https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
- Cormier, P., Freitas, T. T., Rubio-Arias, J. Á., & Alcaraz, P. E. (2020). Complex and Contrast Training: Does Strength and Power Training Sequence Affect Performance-Based Adaptations in Team Sports? A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(5),

- 1461-1479.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003493>
- Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Velocity specificity, combination training and sport specific tasks. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(2), 168-178. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(01\)80027-x](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(01)80027-x)
- Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., Chandler, J., Welch, V. A., Higgins, J. P., & Thomas, J. (2019). Updated guidance for trusted systematic reviews: A new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 10, ED000142. <https://doi.org/10.1002/14651858.ED000142>
- Deeks, J. J., Higgins, J. P., & Altman, D. G. (2008). Analysing Data and Undertaking Meta-Analyses. En J. P. Higgins & S. Green (Eds.), *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (pp. 243-296). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470712184.ch9>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2018). The Effect of Angle and Velocity on Change of Direction Biomechanics: An Angle-Velocity Trade-Off. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(10), 2235-2253. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0968-3>
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), 455-463. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341x.2000.00455.x>
- Egger, M., Davey Smith, G., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 315(7109), 629-634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Fathi, A., Hammami, R., Moran, J., Borji, R., Sahli, S., & Rebai, H. (2019). Effect of a 16-Week Combined Strength and Plyometric Training Program Followed by a Detraining Period on Athletic Performance in Pubertal Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2117-2127. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002461>
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., & Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of Plyometric Exercise Training, Weight Training, and Their Combination on Vertical Jumping Performance and Leg Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625-631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Faude, O., Roth, R., Di Giovine, D., Zahner, L., & Donath, L. (2013). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: A randomised-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1460-1467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.796065>
- Filipovic, A., Kleinöder, H., Dörmann, U., & Mester, J. (2011). Electromyostimulation—A systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3218-3238. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318212e3ce>
- Floría, P., Sánchez-Sixto, A., & Harrison, A. J. (2019). Application of the principal component waveform analysis to identify improvements in vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 37(4), 370-377. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1504602>
- Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suárez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906-914. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1548890>
- Fry, A. C., Schilling, B. K., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., & Thrush, J. T. (2003). Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 746-754. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0746:mfcapc>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0746:mfcapc>2.0.co;2)
- García-Pinillos, F., Martínez-Amat, A., Hita-Contreras, F., Martínez-López, E. J., & Latorre-Román, P. A. (2014). Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2452-2460. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000452>
- Gissis, I., Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Sotiropoulos, A., Komsis, G., & Manolopoulos, E. (2006). Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Research in Sports Medicine (Print)*, 14(3), 205-214. <https://doi.org/10.1080/15438620600854769>
- Golaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., & Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of Human Kinetics*, 52, 95-106. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0197>
- Grgic, J., Lazinic, B., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Test-Retest Reliability of the One-Repetition Maximum (1RM) Strength Assessment: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*, 6(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00260-z>
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., & Mikulic, P. (2021). Effects of plyometric vs. resistance training on skeletal muscle hypertrophy: A review. *Journal of Sport and Health Science*, 10(5), 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.06.010>
- Guadalupe-Grau, A., Perez-Gomez, J., Olmedillas, H., Chavarren, J., Dorado, C., Santana, A., Serrano-Sanchez, J. A., & Calbet, J. a. L. (2009). Strength training combined with plyometric jumps in adults: Sex differences in fat-bone axis adaptations. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1100-1111. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91469.2008>
- Häkkinen, K., Alén, M., & Komi, P. V. (1984). Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(2), 97-105. <https://doi.org/10.1007/BF00422570>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Aloui, G., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Combined Plyometric and Short Sprint With Change-of-Direction Training on Athletic Performance of Male U15 Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 662-675. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002870>
- Harridge, S. D., Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., Reggiani, C., Esbjörnsson, M., & Saltin, B. (1996). Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, 432(5), 913-920. <https://doi.org/10.1007/s004240050215>

- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2012). Speed and countermovement-jump characteristics of elite female soccer players, 1995-2010. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(4), 340-349. <https://doi.org/10.1123/ijspp.7.4.340>
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995-2010. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 148-156. <https://doi.org/10.1123/ijspp.8.2.148>
- Haugen, T., Seiler, S., Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E. (2019). The Training and Development of Elite Sprint Performance: An Integration of Scientific and Best Practice Literature. *Sports Medicine - Open*, 5(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0221-0>
- Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 432-441. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0121>
- Higgins, J. P. T., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Jüni, P., Moher, D., Oxman, A. D., Savović, J., Schulz, K. F., Weeks, L., & Sterne, J. A. C. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 343, d5928. <https://doi.org/10.1136/bmj.d5928>
- Higgins, J. P. T., & Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 21(11), 1539-1558. <https://doi.org/10.1002/sim.1186>
- Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(5), 288-295. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01140.x>
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: Physiological considerations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(3), 165-180. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434030-00003>
- 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hunter, J. P., & Marshall, R. N. (2002). Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(3), 478-486.
- Jiménez-Reyes, P., García-Ramos, A., Párraga-Montilla, J. A., Morcillo-Losa, J. A., Cuadrado-Peñañiel, V., Castaño-Zambudio, A., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2022). Seasonal Changes in the Sprint Acceleration Force-Velocity Profile of Elite Male Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(1), 70-74. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003513>
- Kaplan, T., Erkmén, N., & Taskin, H. (2009). The evaluation of the running speed and agility performance in professional and amateur soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 774-778. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a079ae>
- Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*, 7 Suppl 1, 10-15. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025796>
- Kontopantelis, E., Springate, D. A., & Reeves, D. (2013). A Re-Analysis of the Cochrane Library Data: The Dangers of Unobserved Heterogeneity in Meta-Analyses. *PLOS ONE*, 8(7), e69930. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069930>
- Lee, D. K., In, J., & Lee, S. (2015). Standard deviation and standard error of the mean. *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(3), 220. <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.3.220>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: Explanation and elaboration. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 339, b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., Brewer, C., Pierce, K. C., McCambridge, T. M., Howard, R., Herrington, L., Hainline, B., Micheli, L. J., Jaques, R., Kraemer, W. J., McBride, M. G., Best, T. M., Chu, D. A., Alvar, B. A., & Myer, G. D. (2014). Position statement on youth resistance training: The 2014 International Consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 498-505. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092952>
- Lyttle, A. D., Wilson, G. J., & Ostrowski, K. J. (1996). Enhancing Performance: Maximal Power Versus Combined Weights and Plyometrics Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(3), 173-179.
- Macaluso, F., Isaacs, A. W., Di Felice, V., & Myburgh, K. H. (2014). Acute change of titin at mid-sarcomere remains despite 8 wk of plyometric training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 116(11), 1512-1519. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00420.2013>
- Macaluso, F., Isaacs, A. W., & Myburgh, K. H. (2012). Preferential type II muscle fiber damage from plyometric exercise. *Journal of Athletic Training*, 47(4), 414-420. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.4.13>
- Maffiuletti, N. A., Bramanti, J., Jubeau, M., Bizzini, M., Deley, G., & Cometti, G. (2009). Feasibility and efficacy of progressive electrostimulation strength training for competitive tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 677-682. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b784>
- Magyarosy, I., & Schnizer, W. (1990). [Muscle training by electrostimulation]. *Fortschritte Der Medizin*, 108(7), 121-124.
- Makhlouf, I., Chaouachi, A., Chaouachi, M., Ben Othman, A., Granacher, U., & Behm, D. G. (2018). Combination of Agility and Plyometric Training Provides Similar Training Benefits as Combined Balance and Plyometric Training in Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 9, 1611. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01611>
- Martínez-López, E. J., Benito-Martínez, E., Hita-Contreras, F., Lara-Sánchez, A., & Martínez-Amat, A. (2012). Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(4), 727-735.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. Light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 75-82.
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bc1aac>
- Otero-Esquina, C., de Hoyo Lora, M., Gonzalo-Skok, Ó., Domínguez-Cobo, S., & Sánchez, H. (2017). Is strength-training frequency a key factor to develop performance adaptations in

- young elite soccer players? *European Journal of Sport Science*, 17(10), 1241-1251. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1378372>
- Peña-González, I., Fernández-Fernández, J., Cervelló, E., & Moya-Ramón, M. (2019). Effect of biological maturation on strength-related adaptations in young soccer players. *PLoS One*, 14(7), e0219355. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355>
- Perez-Gomez, J. P.-G., Olmedillas, H. O., Delgado-Guerra, S. D.-G., Royo, I. A. R. A., Vicente-Rodriguez, G. V.-R., Ortiz, R. A. O. A., Chavarren, J. C., & Calbet, J. A. L. C. A. L. (2008). Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. <https://doi.org/10.1139/H08-026>
- Pienaar, C., & Coetzee, B. (2013). Changes in selected physical, motor performance and anthropometric components of university-level rugby players after one microcycle of a combined rugby conditioning and plyometric training program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 398-415. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825770ea>
- Prieto, M. F., Fernández, F. T. G., Morales, S. B., Jiménez, A. B., Barrero, A. M., Fernández, L. C., Arrones, L. S., & Villarreal, E. S. de. (2020). Effects of a Strength training program with self loading on countermovement jump performance and body composition in young soccer players. *Journal of Sport and Health Research*, 12(1), Article 1. <https://recyt.fecyt.es/index.php/JSHR/article/view/80797>
- Prieto, M. F., González, J. R., Sáez, E. S. de V., Palma, J. R., García, F. J. I., & Fernández, F. T. G. (2021). Effects of combined plyometric and sled training on vertical jump and linear speed performance in young soccer players. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación*, 42, 228-235.
- Qi, F., Kong, Z., Xiao, T., Leong, K., Zschorlich, V. R., & Zou, L. (2019). Effects of Combined Training on Physical Fitness and Anthropometric Measures among Boys Aged 8 to 12 Years in the Physical Education Setting. *Sustainability*, 11(5), 1219. <https://doi.org/10.3390/su11051219>
- Racil, G., Jlid, M. C., Bouzid, M. S., Sioud, R., Khalifa, R., Amri, M., Gaied, S., & Coquart, J. (2020). Effects of flexibility combined with plyometric exercises vs isolated plyometric or flexibility mode in adolescent male hurdlers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(1), 45-52. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09906-7>
- Ramírez-Campillo, R., Gallardo, F., Henriquez-Olguín, C., Meylan, C. M. P., Martínez, C., Álvarez, C., Caniuqueo, A., Cadore, E. L., & Izquierdo, M. (2015). Effect of Vertical, Horizontal, and Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1784-1795. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000827>
- Ramirez-Campillo, R., Gentil, P., Negra, Y., Grgic, J., & Girard, O. (2021). Effects of Plyometric Jump Training on Repeated Sprint Ability in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(10), 2165-2179. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01479-w>
- Ramirez-Campillo, R., Sanchez-Sanchez, J., Romero-Moraleda, B., Yanci, J., García-Hermoso, A., & Manuel Clemente, F. (2020). Effects of plyometric jump training in female soccer player's vertical jump height: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 38(13), 1475-1487. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1745503>
- Ramos, F. G., & López, J. P. (2016). Efectos de 8 Semanas de Entrenamiento Pliométrico y Entrenamiento Resistido Mediante Trineo en el Rendimiento de Salto Vertical y Esprint en Futbolistas Amateurs. *Kronos: revista universitaria de la actividad física y el deporte*, 15(2), 6.
- Ramos Veliz, R., Requena, B., Suarez-Arrones, L., Newton, R. U., & Sáez de Villarreal, E. (2014). Effects of 18-week in-season heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1007-1014. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000240>
- Redondo, J. C., Alonso, C. J., Sedano, S., & de Benito, A. M. (2014). Effects of a 12-week strength training program on experimented fencers' movement time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(12), 3375-3384. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000581>
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 669-683. <https://doi.org/10.1080/02640410050120050>
- Ribeiro, J., Afonso, J., Camões, M., Sarmiento, H., Sá, M., Lima, R., Oliveira, R., & Clemente, F. M. (2021). Methodological Characteristics, Physiological and Physical Effects, and Future Directions for Combined Training in Soccer: A Systematic Review. *Healthcare*, 9(8), 1075. <https://doi.org/10.3390/healthcare9081075>
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 453-458. <https://doi.org/10.1519/R-14653.1>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Márquez, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(9), 2498-2508. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001706>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 240-246. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0176>
- Rodríguez-Rosell, D., Torres-Torrel, J., Franco-Marquez, F., Manuel Gonzalez-Suarez, J., & Jose Gonzalez-Badillo, J. (2017). 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. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(7), 695-699. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.010>
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a5e86>
- Sáez 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220fd03>
- Saez de Villarreal, E., Requena, B., Izquierdo, M., & Jose Gonzalez-Badillo, J. (2013). Enhancing sprint and strength performance: Combined versus maximal power, traditional heavy-resistance and plyometric training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(2), 146-150. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.05.007>
- Saez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ferrete, C. (2015). Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1894-1903. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000838>
- Sáez-Sáez de Villarreal, E., Requena, B., & Newton, R. U. (2010). Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 513-522. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.005>
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138-143. <https://doi.org/10.1097/00003677-200207000-00008>
- Schmidtbleicher, D., & Buhle, M. (1987). Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. (Biomechanics XB (ed.)). *Human Kinetics*.
- Shi, L., & Lin, L. (2019). The trim-and-fill method for publication bias: Practical guidelines and recommendations based on a large database of meta-analyses. *Medicine*, 98(23), e15987. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015987>
- Stasinaki, A.-N., Gloumis, G., Spengos, K., Blazevich, A. J., Zaras, N., Georgiadis, G., Karampatsos, G., & Terzis, G. (2015). Muscle Strength, Power, and Morphologic Adaptations After 6 Weeks of Compound vs. Complex Training in Healthy Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2559-2569. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000917>
- Sterne, J. A. C., Sutton, A. J., Ioannidis, J. P. A., Terrin, N., Jones, D. R., Lau, J., Carpenter, J., Rücker, G., Harbord, R. M., Schmid, C. H., Tetzlaff, J., Deeks, J. J., Peters, J., Macaskill, P., Schwarzer, G., Duval, S., Altman, D. G., Moher, D., & Higgins, J. P. T. (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ*, 343, d4002. <https://doi.org/10.1136/bmj.d4002>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(10), 1419-1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Swinton, P. A., Lloyd, R., Keogh, J. W. L., Agouris, I., & Stewart, A. D. (2014). Regression models of sprint, vertical jump, and change of direction performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), 1839-1848. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000348>
- Thapa, R. K., Lum, D., Moran, J., & Ramirez-Campillo, R. (2021). Effects of Complex Training on Sprint, Jump, and Change of Direction Ability of Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 11, 627869. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.627869>
- Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., & Ugrinowitsch, C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: Weightlifting vs. vertical jump training programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 433-437. <https://doi.org/10.1519/R-14083.1>
- Usman, T., & Shenoy, K. B. (2019). Effects of Plyometrics and Plyometrics Combined with Dynamic Stretching on Vertical Jump in Male Collegiate Volleyball Players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 8(1), 66-73. <https://doi.org/10.30472/ijaep.v8i1.367>
- Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., & Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 304-310. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248320>
- Vissing, K., Brink, M., Lønborg, S., Sørensen, H., Overgaard, K., Danborg, K., Mortensen, J., Elstrøm, O., Rosenhøj, N., Ringgaard, S., Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2008). Muscle adaptations to plyometric vs. Resistance training in untrained young men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1799-1810. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318185f673>
- Włodarczyk, M., Adamus, P., Zieliński, J., & Kantanista, A. (2021). Effects of Velocity-Based Training on Strength and Power in Elite Athletes-A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5257. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105257>
- Zghal, F., Colson, S. S., Blain, G., Behm, D. G., Granacher, U., & Chaouachi, A. (2019). Combined Resistance and Plyometric Training Is More Effective Than Plyometric Training Alone for Improving Physical Fitness of Pubertal Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01026>

Datos de los autores:

Carlos León Muñoz
Rodrigo Ramírez Campillo
Pablo Traver Gil
Eduardo Sáez de Villarreal Sáez

carlemu@live.com
rodrigo.ramirez@unab.cl
traverpablo98@gmail.com
esaesae@upo.es

Autor/a
Autor/a
Autor/a
Autor/a

Effects of combined plyometric, strength, speed and change of direction training on youth male soccer players physical performance: A randomised controlled trial

Efectos del entrenamiento combinado pliométrico, de fuerza, velocidad y cambio de dirección en el rendimiento físico de jugadores jóvenes de fútbol masculino: Un ensayo controlado aleatorio

*Carlos León Muñoz, **Rodrigo Ramírez Campillo, ***Pablo Traver Gil, *Eduardo Sáez de Villarreal Sáez

*Universidad Pablo de Olavide (España), **Universidad Andrés Bello (Chile), ***Universidad Católica de Valencia (España)

Abstract. The objective of this study is to determine the influence of short-term plyometric or combined training (6 weeks) within regular soccer practice on the jumping and change of direction actions of young soccer players during the season. Thirty players were randomly assigned to three groups: plyometrics (PL), plyometrics + speed + Change of direction (COD) (COMB1), or PL + speed + COD + strength (COMB2). All players trained soccer 3 times per week and the experimental groups change the typical tactical warm up with a proposed PL or combined training program for 20 minutes (2 days per weeks) for 6 weeks. Before, after training, free-arm countermovement jump (CMJA) and L-RUN tests were analysed. Within-group analysis showed substantial improvements in CMJA (ES: 0.73;1.27;1.16) in COMB1, COMB2 and PL while COMB1 and COMB2 also showed substantial enhancements in COD tests (ES: 3.75; 2.15). Between-group analysis showed substantially greater improvements in COD variables ($p \leq 0.001$; $p \leq 0.001$) in the experimental groups in comparison to PL. Finally, COMB1 and COMB2 showed no significant enhancements in L-Run ($p \leq 0.234$). The replacement of some low-intensity football drills with PL combined with strength, sprints and COD. during warm-up may be a possible option to optimise jumping and change of direction ability during in-season football training.

Keywords: agility, vertical jump, speed, acceleration, soccer player, plyometrics, strength

Resumen. El objetivo de este estudio es determinar la influencia del entrenamiento pliométrico a corto plazo o del entrenamiento combinado (6 semanas) dentro de la práctica regular de fútbol en los saltos y las acciones de cambio de dirección de jóvenes jugadores de fútbol durante la temporada. Treinta jugadores fueron asignados al azar a tres grupos: pliometría (PL), pliometría + velocidad + cambio de dirección (COD) (COMB1) o PL + velocidad + COD + fuerza (COMB2). Todos los jugadores entrenaron 3 veces por semana y los grupos experimentales cambiaron el calentamiento táctico típico por un programa propuesto de pliometría o entrenamiento combinado durante 20 minutos (2 días por semana) durante 6 semanas. Antes y después del entrenamiento, se analizaron los saltos con contramovimiento con brazos libres (CMJA) y las pruebas L-RUN. El análisis dentro de los grupos mostró mejoras significativas en CMJA (ES: 0.73;1.27;1.16) en COMB1, COMB2 y PL, mientras que COMB1 y COMB2 también mostraron mejoras significativas en las pruebas COD (ES: 3.75; 2.15). El análisis entre grupos mostró mejoras significativas mayores en las variables de COD ($p \leq 0.001$; $p \leq 0.001$) en los grupos experimentales en comparación con PL. Finalmente, COMB1 y COMB2 no mostraron mejoras significativas en L-Run ($p \leq 0.234$). La sustitución de algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad con pliometría combinada con fuerza, sprints y COD durante el calentamiento podría ser una opción posible para optimizar la capacidad de salto y cambio de dirección durante el entrenamiento de fútbol en temporada.

Palabras clave: agilidad, salto vertical, velocidad, aceleración, jugador de fútbol, pliometría, fuerza.

Fecha recepción: 11-02-24. Fecha de aceptación: 19-04-24

Carlos León Muñoz

carlemu@live.com

Introduction

Due to the fact that soccer is the most popular sport in the world, many studies have been carried out to understand what the most important skills are required by soccer players (Datson et al., 2014; Hoff, 2005; Stølen et al., 2005). Despite this, there is still very little scientific literature on this topic. Because of this, many soccer players learn their soccer skills as a result of individual training experiences rather than academic research-based instruction (López-Segovia et al., 2011; Marques et al., 2013).

In today's football, players are required to be more and more athletic. This makes the physical and physiological demands more important in both young and senior soccer players. Within these demands we find actions that occur at moderate intensity (jogging), low-intensity (walking) and actions that occur at high intensity (i.e., sprinting, jumping, cutting, COD, or ball-shooting) (Sáez de Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff, & Ferrete, 2015). If a match is analysed, it is observed that approximately one player performs 1,350 actions (every 4-6 seconds), of

which high-intensity actions stand out, such as accelerations/decelerations, COD and jumps, since they are the most decisive actions in a match (Mohr et al., 2005). Therefore, with the aim of improving performance, the improvement of these capacities, allowing the athlete to perform faster and more powerful movements, will be a key component in the soccer player's training (Beato et al., 2018; Mohr et al., 2003).

In youth soccer, speed, agility and power are essential skills. Therefore, players who demonstrate superiority over others in these qualities are frequently selected (Reilly & Williams, 2003). To achieve high performance levels in these physical qualities, training must start at an early age during long-term athlete development. A structured approach to the training of young athletes with one of the goals to maximize sporting talent by increasing the likelihood of developing a gifted child into a world-class athlete (Lloyd et al., 2015). Thus, the training sessions should not only incorporate tasks at a technical-tactical level, but should also incorporate tasks that require the high intensity actions mentioned above that require high muscle strength levels,

especialmente en la parte inferior del cuerpo para poder realizar acciones de alta intensidad de manera más eficiente y con mejores resultados (Prieto et al., 2021; Suchomel et al., 2016). Se ha demostrado que la fuerza y la velocidad son cualidades físicas clave para los deportes de equipo en los que la potencia es una prioridad, como el fútbol (Gissis et al., 2006; Reilly et al., 2000). El término "potencia" se refiere a la capacidad de un sistema neuromuscular para generar la máxima cantidad de fuerza en el menor tiempo posible. Es una medida de la velocidad a la que se puede aplicar la fuerza. En el contexto del rendimiento atlético, la potencia es crucial en actividades que requieren movimientos explosivos, como saltos, sprints, o lanzamientos. Mejorar la potencia puede resultar en un rendimiento atlético mejorado en disciplinas que demandan velocidad y fuerza explosiva. La potencia puede medirse y evaluarse a través de varias pruebas y métodos, como el salto vertical (e.g., CMJ) y el sprint de corta distancia (Kraemer & Newton, 2000). El CMJ sirve como una medida confiable para evaluar la potencia explosiva y la fuerza de la parte inferior del cuerpo (Bosco et al., 1983). Estas evaluaciones ayudan a los entrenadores y atletas a comprender el nivel de capacidad explosiva y a diseñar programas de entrenamiento específicos para mejorarla.

Una gran variedad de métodos de entrenamiento, incluyendo fuerza, PL, velocidad, COD, métodos combinados ha sido estudiado por investigadores para desarrollar el sprint, el salto vertical, y el rendimiento de la agilidad (Delecluse, 1997; Dos'Santos et al., 2017; Sáez de Villarreal et al., 2013; Sáez de Villarreal et al., 2009).

La metodología de entrenamiento plyométrico está ampliamente respaldada por la literatura científica (Asadi et al., 2016; Sáez de Villarreal et al., 2012; Sáez de Villarreal et al., 2009; Sáez de Villarreal et al., 2010). En jóvenes jugadores de fútbol, se ha demostrado que el PL proporciona un estímulo suficiente para mejorar las acciones explosivas (Chelly et al., 2010; Diallo et al., 2001; Kotzamanidis et al., 2005; Meylan & Malatesta, 2009; Wong et al., 2010). El PL incluye ejercicios de saltos que utilizan el ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) de la acción muscular, lo que permite a la capacidad del sistema musculotendinoso y nervioso para producir la máxima fuerza en el menor tiempo durante una rápida transición desde una contracción excéntrica a una contracción concéntrica del músculo (Markovic et al., 2007; Markovic & Mikulic, 2010). Es importante mencionar que la mayoría de los movimientos de la parte inferior del cuerpo en el fútbol se realizan unilateralmente. Por lo tanto, es necesario considerar la incorporación de ejercicios de PL unilaterales multidireccionales en los programas de entrenamiento de fuerza específicos para el fútbol (Ramirez-Campillo et al., 2018).

La eficiencia al realizar un cambio de dirección dependerá de niveles más altos de control motor y equilibrio, una mínima pérdida de velocidad y un esfuerzo máximo con breves períodos de recuperación (Hammami, Gaamouri, Aloui, et al., 2019; Sporis et al., 2010). Se ha reportado previamente que los atletas acostumbrados a realizar diferentes COD y carreras de relevos cortas se vuelven considerablemente más económicos durante esas acciones específicas. Un programa de entrenamiento que incluya repeticiones de COD es necesario para desarrollar la agilidad (Beato et al., 2018; Coratella et al., 2016; Zamparo et al., 2015).

Para maximizar los beneficios, el método de resistencia consiste en realizar los mismos ejercicios pero añadiendo una sobrecarga al atleta (Rumpf et al., 2015). La sobrecarga durante acciones explosivas causa una mayor activación neuronal y un mayor reclutamiento de unidades motoras rápidas (Faccioni, 2007). En este aspecto, la carga de resistencia óptima para el entrenamiento de sprint aún no se ha establecido (Petraikos et al., 2016). A pesar de esto, los autores recomiendan que el peso utilizado no disminuya más del 10% del rendimiento logrado sin peso, ya que puede producir cambios importantes en la mecánica del atleta (Lockie et al., 2003; Spinks et al., 2007).

La combinación de diferentes métodos de entrenamiento parece ser una manera eficiente de mejorar el rendimiento neuromuscular durante acciones explosivas como saltos, COD o sprints (Newton & Kraemer, 1994; Sáez de Villarreal et al., 2013). La combinación más estudiada ha sido fuerza y PL, y se ha demostrado que es un método efectivo para mejorar el rendimiento de estas habilidades motoras (Adams et al., 1992; Fatouros et al., 2000). Por lo tanto, los programas de entrenamiento que combinan fuerza y PL son recomendados para los jugadores de fútbol. El tiempo disponible para la mayoría de los equipos de fútbol no élite o de academia durante el período de entrenamiento en temporada es muy limitado. La búsqueda de estrategias de tiempo eficiente que mejoren concurrentemente el rendimiento en habilidades específicas mientras se previenen lesiones es crucial (Prieto et al., 2021). Por lo tanto, los entrenadores y científicos del deporte han estado haciendo esfuerzos significativos para identificar las mejores combinaciones entre diferentes modos de ejercicios de fuerza-potencia y programas de entrenamiento (Arede et al., 2019; Faude et al., 2013; Herrero et al., 2010). En el fútbol juvenil, las mejoras en el rendimiento se han obtenido con diferentes combinaciones de PL+ entrenamiento de fuerza (Arabatzis et al., 2010; Sáez de Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff, & Ramos Veliz, 2015; Sanchez-Sixto et al., 2021), PL + Velocidad (Hammami, Gaamouri, Aloui, et al., 2019; Prieto et al., 2021; Sáez de Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff, & Ferrer, 2015), PL+ fuerza+ velocidad (Faude et al., 2013; Otero-Esquina et al., 2017; Rodríguez-Rosell et al., 2016, 2017).

Considerando las anteriores consideraciones, el objetivo de este estudio fue examinar los efectos de un programa de PL ya sea suplementado con un sprint y un programa de entrenamiento de COD o suplementado con fuerza, sprint y un programa de entrenamiento de COD durante la temporada en acciones explosivas específicas (COD y salto) entre jugadores de fútbol de temprana pubertad. Se hipotetizó que la combinación de ejercicios técnicos de fútbol y el programa de entrenamiento específico combinado durante un período de 6 semanas mejoraría las acciones explosivas (COD y salto) en un mayor grado que el entrenamiento de PL solo.

Methods

Experimental Approach to the Problem

This study was designed to investigate whether significant increases in lower-body muscle power could be obtained in young male soccer players if the first part of their regular training program (i.e., 20 min of tactical and technical drills) was replaced by 6 weeks of combined training (vertical, horizontal, and lateral jumping, strength, sprints and COD exercises depending on the group) or PL alone.

The effects of 6 weeks of combined training were compared in three different groups a PL group and two combined training groups. None of the groups undertook any other training other than the standard soccer training regimen.

All subjects were evaluated before (Pre) and after 6 weeks of training (Post) using a battery of tests performed in the following order: (a) CMJA and (b) L-RUN change of direction test. The intervention was carried out during the final period of the season (April–May). During the week preceding this study, one preliminary familiarization session was undertaken to ensure a proper execution technique in both L-RUN and CMJA exercises.

Subjects

The subjects were recruited from the same academy affiliated with a semi-professional team in Spanish third division and were competing in the U11 ($n = 12$), U11 ($n = 12$), or U12 ($n = 12$) divisional age groups. After the initial evaluation, the 36 soccer players in each cohort were randomly divided into three groups: those who participated in plyometric training (PL, $n=10$), PL combined with speed and COD training (COMB1, $n=11$) and PL combined with strength, speed, and COD training (COMB2, $n=9$). Only those players who participated in at least 70% of all training sessions (30 players) were included into statistical analyses. Because of injury or illness not caused by the intervention, 6 players (2 PL, 1 COMB1 and 3 COMB2) missed too many training sessions or were absent from the post testing session (Figure 1). Player's characteristics are displayed in Table 1.

Subjects were soccer trained for more than 4 (PL), 6 (COMB1), and 6 (COMB2) years. Subjects had no experience in weight training, and they did not perform strength training as part of their normal training routine. To be included in the study, they were injury free for at least 6 months before participating in the study. Coach and parents were informed about the different test procedures performed during the study. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and conforms to the Code of Ethics of the World Medical Association. The study was approved by the Research Ethics Committee of Pablo de Olavide University. Parental or guardian signed informed consent for all players under the age of 18 involved in this investigation were obtained, as well as participant's assent.

Testing procedure

Anthropometric measurements were taken before the physical testing. The standing height (centimetres) and

body mass (kilograms) were measured. Neuromuscular performance was assessed before and after training using a battery of tests performed in two sessions, the first one for vertical jump and the second one for COD as described below. The tests were performed after 48 hours of rest from the last training or competition session. Testing sessions were performed at the same venue and time of day (± 0.5 hour). Strong verbal encouragement was provided during all tests to motivate subjects to give a maximal effort.

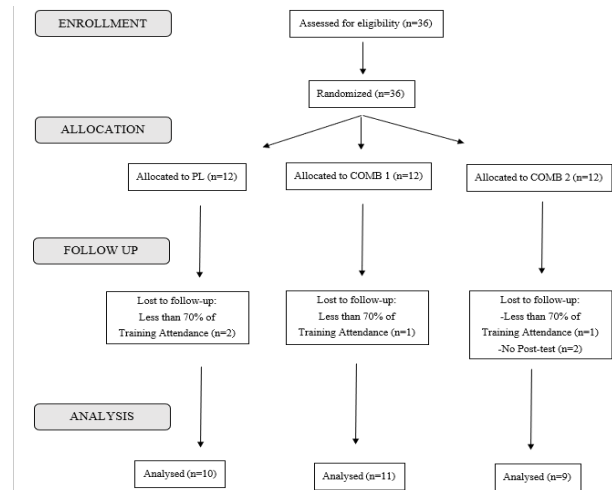


Figure 1. Consort diagram

Table 1.

Characteristics of the groups (mean \pm SD).

Group	Age (y)	Height (cm)	Body weight (kg)	Soccer experience (y)
PL	11.3 \pm 0.483	148 \pm 8.64	40 \pm 8.35	3.7 \pm 1.7
COMB1	10.8 \pm 0.405	146 \pm 4.43	39.4 \pm 5.23	5.91 \pm 0.944
COMB2	10.6 \pm 0.527	148 \pm 7.58	38.3 \pm 4.12	5.56 \pm 1.13

Vertical Jump

A warm-up was completed before the test, consisted of 5 min of running, 2 sets of 10 repetitions of submaximal squat without extra load and 2 set of 10 submaximal CMJA. Thereafter the athletes performed the CMJA. From an upright position, participants performed a rapid downward movement to a knee angle of $\sim 90^\circ$ and simultaneously beginning to push-off, with arm-swing. The height of the jump was measured with a jump mat (Chronojump Boscosystems). Each player performed three maximal jumps, with an inter-trial rest of 45-second. The highest jump was used in subsequent analyses.

L-RUN test

The warm-up protocol consisted of 5 min of running and three submaximal trials. Three cones were placed 5 m apart in an "L" shape. The front foot was placed 0.2 m before the first timing gate at the beginning of the test. Players started in the standing position and were required to run forward 5 m, then turn to their left, run forward 5m, then turn 180° , and follow the same course to return to the start/finish line (Webb & Lander, 1983). The test was completed when the participant crossed the start/finish line.

The cones used were 0.5 m in height. Players were instructed to run as quickly as possible along the “L”. Times were registered through photocells (Microgate, Bolzano, Italy). Three trials, separated by 3 min rest, were completed, and the best performance trial was used for further analysis.

Strength Training Program

Training groups trained twice a week on Tuesday and Thursday, for a period of 6 weeks. Intervention training sessions lasted ~20 minutes. Table 2 describes the training program. In all sessions, warm-up consisted of 5 minutes of jogging. The training program for the three groups was divided into two blocks of 3 weeks, the first three weeks performing all exercises with body weight and the following

three weeks with ~12% of body weight of the group average added to all exercises by a weight vest. The workload of the three different training programs was divided proportionally. Effort perception was analysed at the end of each training intervention using the Borg Rating of Perceived Scale. The PL work was divided into two days: the first day of the week jumps were performed with both legs and the second day jumps were performed with one leg. Regarding the amount of the load, it was divided as follows: the PL group performed a total of 150 jumps per session. The COMB1 group performed 75 jumps and 9 sprints with COD. The COMB2 group performed 50 jumps and 6 sprints with COD. All groups finished the series with a finish in mini goals.

Table 2.
Training program

PROGRAM	BLOCK 1		BLOCK 2	
	DAY 1 Sessions 1-3-5	DAY 2 Sessions 2-4-6	DAY 1 Sessions 7-9-11	DAY 2 Sessions 8-10-12
Plyometric training				
Box jump	5X6	---	5X6	---
Landing jump	---	5X6	---	---
Drop jump	---	---	---	5X6
Horizontal jump 2 legs	10X6	---	10X6	---
Horizontal jump 1 leg	---	10X6	---	10X6
Lateral jump 2 legs	10X6	---	10X6	---
Lateral jump 1 leg	---	10X6	---	10X6
Combined training 1				
Box jump	5X3	---	5X3	---
Landing jump	---	5X3	---	---
Drop jump	---	---	---	5X3
Horizontal jump 2 legs	10X3	---	10X3	---
Horizontal jump 1 leg	---	10X3	---	10X3
Lateral jump 2 legs	10X3	---	10X3	---
Lateral jump 1 leg	---	10X3	---	10X3
5 meters sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
10 meters sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
20 meters sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
45° COD	1X3	1X3	1X3	1X3
90° COD	1X3	1X3	1X3	1X3
180° COD	1X3	1X3	1X3	1X3
Combined training 2				
Box jump	5X2	---	5X2	---
Landing jump	---	5X2	---	---
Drop jump	---	---	---	5X2
Horizontal jump 2 legs	10X2	---	10X2	---
Horizontal jump 1 leg	---	10X2	---	10X2
Lateral jump 2 legs	10X2	---	10X2	---
Lateral jump 1 leg	---	10X2	---	10X2
5 meters sprint	1X2	1X2	1X2	1X2
10 meters sprint	1X2	1X2	1X2	1X2
20 meters sprint	1X2	1X2	1X2	1X2
45° COD	1X2	1X2	1X2	1X2
90° COD	1X2	1X2	1X2	1X2
180° COD	1X2	1X2	1X2	1X2
SQUAT	10X2	10X2	10X2	10X2
LUNGE	10X2	10X2	10X2	10X2
LATERAL LUNGE	10X2	10X2	10X2	10X2

Statistical Analyses

Descriptive statistics (mean \pm Standard deviation (SD)) for the different variables were calculated. Independent samples T-tests were executed to analyse differences between the two experimental groups for anthropometrics (height, weight). An analysis of variance (ANOVA) with repeated measures (Group \times Time) was used to analyse performance variables after training (pre and post intervention). When

the ANOVA revealed significant main effects or interactions, a Bonferroni post hoc test was applied to test the discrimination between means. The statistical significance level was set at $p < 0.05$. Effect sizes were interpreted using previously outlined ranges (< 0.2 = trivial; $0.2-0.6$ = small, $0.6-1.2$ = moderate, $1.2-2.0$ = large, $2.0-4.0$ = very large, > 4.0 = extremely large) (Hopkins et al., 2009). The smallest effect was classified as 0.2 of the between-subject standard deviation (Hopkins et al., 2009).

Results

No significant differences in the anthropometric variables measured (body weight and height) were observed in the pre-test between the combined groups and PL group.

Vertical Jump

Statistically significant increases ($p \leq 0.04$) occurred in the PL group in CMJA (centimetres) (PL [1.7 cm, ES =

0.732]). Statistically significant increases ($p \leq 0.002$) occurred in the COMB1 group in CMJA (centimetres) (COMB1 [2 cm, ES = 1.27]). Statistically significant increases ($p \leq 0.008$) occurred in the COMB2 group in CMJA (centimetres) (COMB2 [2.1 cm, ES = 1.16]) (Table 3). No Significant differences ($p \leq 0.847$); ($p \leq 0.749$); ($p \leq 0.861$) in CMJA test were observed after training in the magnitude of the increase between COMB 1, COMB 2 groups and PL group (Table 4).

Table 3.

Within-group analysis: baseline and follow-up scores, effect sizes, confidence limits, and P value.

Group	Test	Baseline \pm SD	Follow-up \pm SD	Effect size and CI	P	Effect description
PL group	CMJA	30.7 \pm 5.44	32.4 \pm 5.08	0.732 (0.013 to 1.42)	0.046	Moderate
	L-Run	9.79 \pm 0.598	9.76 \pm 0.611	0.113 (-0.512 to 0.732)	0.728	Trivial
COMB1 group	CMJA	28.9 \pm 4.22	30.9 \pm 3.91	1.27 (0.446 to 2.06)	0.002	Large
	L-Run	9.79 \pm 0.556	8.51 \pm 0.61	3.75 (2.02 to 5.46)	<0.001	Large
COMB2 group	CMJA	29.1 \pm 3.81	31.2 \pm 4.73	1.16 (0.281 to 2.00)	0.008	Moderate
	L-Run	9.97 \pm 0.477	8.83 \pm 0.377	2.15 (0.913 to 3.36)	<0.001	Large

L-Run test

No Statistically significant increases ($p \leq 0.728$) occurred in the PL group in L-Run test (Seconds) (PL [0.03 sec, ES = 0.113]). Statistically significant increases ($p \leq 0.001$) occurred in the COMB1 group in L-Run test (Seconds) (COMB1 [1.28 sec, ES = 3.75]). Statistically significant increases ($p \leq 0.001$) occurred in the COMB2 group in L-Run test (Seconds) (COMB2 [1.14 sec, ES = 2.15]) (Table 3). Significant differences ($p \leq 0.001$); ($p \leq 0.001$) in L-run test were observed after training in the magnitude of the increase between both COMB1 and COMB2 group and PL. No Significant differences ($p \leq 0.234$) in L-run test were observed after training in the magnitude of the increase between COMB1 and COMB2 group (Table 4).

Table 4.

Differences between the three groups in the training effects

Test	Baseline \pm SD	P
CMJA	COMB1 vs PL	0.749
	COMB1 vs COMB2	0.847
	COMB2 vs PL	0.861
L-Run	COMB1 vs CG	<0.001
	COMB1 vs COMB2	0.234
	COMB2 vs PL	<0.001

Discussion

The aim of this study was to examine the effect of substituting some regular in-season training with 6 weeks of biweekly PL training, combined PL with short sprints and COD training or, a combined PL with strength, short sprints and COD training in children (10–12 years) soccer players in an attempt to maximize physical performance (i.e., jumping and agility). In this context, we accept our hypothesis in that the two combined plyometric methods in-season would improve both jumping and COD performance and a PL training group would improve jumping performance significantly over a short period of time in a group of children soccer players. These results tend to support most of the previous published studies performed examining these types of training interventions with young soccer players (Marqués et al., 2013; Otero-Esquina et al., 2017;

Sáez de Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff, & Ferrere, 2015).

The success of a vertical jump is determined by the velocity at take-off, and reductions of time between eccentric and concentric movement during PL training allow an athlete to become faster and more powerful through improvements in muscle, tendon, and nerve function (Asadi et al., 2016; Behrens et al., 2016). This success on improving jump height during PL training are attributable to neural adaptations rather than morphologic changes (Sáez de Villarreal et al., 2008). The findings of the present study are in agreement with these authors because there were no interaction or time effects with regard to the muscle mass component. Moreover, In younger children, even though their neuromuscular system is not completely matured (Smits-Engelsman et al., 2003), the improvement of muscle power depends on neural factors rather than muscle strength (Thomas et al., 2009). Nevertheless, neither muscle mass nor neuromuscular variables were assessed in the present study. Further studies focusing on neuromuscular factors are required to corroborate this for soccer players.

Adaptations to training are likely to be neural because these predominate in the early stages of strength and power training (Billot et al., 2010) and have been shown to be the main adaptation to plyometric exercise (Diallo et al., 2001; Michailidis et al., 2013). Neural adaptations are associated with improvement in maximal voluntary contraction, more synergistic muscle activation and less antagonistic muscle activation (i.e., intermuscular coordination), greater motor unit recruitment (i.e., intramuscular coordination) and stretch reflex excitability (Markovic & Mikulic, 2010).

Furthermore, Kobal et al. (Kobal et al., 2017) reported that the use of additional load during executed jumps allowed players to apply greater force against the ground in the direction of intended movement (vertical or horizontal axes) on a longer period of time. This mechanical adjustment generates higher impulses (possibly additional overload) during jumps (Cronin et al., 2014), thus producing a greater adaptation of jumping ability in the loaded group (Kobal et al., 2017). In this study, significant improvements

were observed in vertical jump between baseline and post-test in the combined groups, what is in accordance with the findings obtained in several recent investigations performed in young soccer players where incorporate the use of loaded and unloaded combined plyometrics with sprints or COD or both (Beato et al., 2018; Hammami et al., 2016, 2020; Michailidis et al., 2019; Prieto et al., 2021; Sáez de Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff, & Ferrete, 2015). Furthermore, Our data are in agreement with investigations in young soccer players which have described improved jump performance following combined plyometrics with strength sprints and COD training (Franco-Márquez et al., 2015; Rodríguez-Rosell et al., 2017, 2017). However, we hypothesized that the combination of methods would obtain better results than the group that performed only PL, besides the results show an improvement compared combined groups above PL, no significant improvements were obtained. Similar results obtain Arabatzi et al. using a combined method (Arabatzi et al., 2010). Meanwhile, a common trend in training programs indicates that a combination of methods is more effective for enhancing performance rather than stand-alone approaches (Adams et al., 1992). Further studies are needed to corroborate if the combination of methods is more beneficial for the vertical jump than the isolate use of PL.

Some studies examined the effects of combined training on COD and observed no gain after training (Arede et al., 2019; Beato et al., 2018; Michailidis et al., 2019). Moreover, in this study, significant improvements were observed in COD test between baseline and post-test in the combined groups what is in accordance with the findings obtained in several recent investigations (Aloui et al., 2021; Hammami et al., 2020; Hammami, Gaamouri, Shephard, et al., 2019; Makhoulf et al., 2018; Sáez de Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff, & Ferrete, 2015).

In addition, dissimilarities in acute program variables (duration, intensity, and frequency) and methodology (period and duration of studies and age, gender, and competitive level of players) could contribute to discrepancies between study results. Other authors did obtain differences when using specific exercises (e.g., lateral bounds, unilateral hops, and angle hops) in the plyometric program compared to jumping exercises that were nonspecific to COD (i.e., vertical jumps) (Faigenbaum et al., 2007; Pienaar & Coetzee, 2013). The results of this study suggest that performing COD exercises combined with PL obtains better results than PL training alone, even though these exercises are specific.

Moreover, the protocols proposed in the current study used a training frequency of 2 sessions a week that seems a sufficient stimulus to improve power parameters in young players. To understand the adaptations that underlie after the training program it has to be understood that the COD ability refers to a replanned movement where no immediate reaction to a stimulus is required. It is affected by the individual's strength, power, and speed (Sheppard & Young, 2006). The fastest performance in COD speed test is mainly

described by higher contribution of isometric and eccentric strength capacities, as well as higher braking and propulsive forces, lower contact time, time spent braking and propulsive (Spiteri et al., 2015). However, given the multiple-component of the COD movements, the implement of exercise tasks that produced eccentric overload (de Hoyo et al., 2015), unilateral training (Buchheit et al., 2010), multidirectional movements (backward and/or forward and lateral directions) (Los Arcos et al., 2014), and angle- or movement-specific tasks (Milanović et al., 2013), may be more beneficial than implemented and one in isolation.

In summary, this data clearly demonstrated that adding combined plyometric and sprint training in previously moderately trained pubertal soccer players seems to be a good stimulus for improving jumping and agility ability. Both groups performed better than the PL group in the COD test and jump performance was similar. taking into account that the number of jumps was lower, so these results indicate that combined methods provide us with similar results for the jump but at the same time it allows us to improve other performance variables without spending more time. It seems to be a more interesting methodology than an isolated one. Nevertheless, the hypothesis that there would be difference between final measures contributing to athletic performance between the COMB2 over the COMB1 in jumping and COD performance is rejected.

This study has some limitations. The first limitation is associated with the small sample enrolled. A bigger sample could have offered a better view about the effect obtained by the three protocols. A justification of such sample size is associated with the specificity of the population enrolled and with the restrictive access to youth players in season.

The second limitation is gender related. We cannot speculate that our results can be extended to other specific populations (e.g., elite female players). The third limitation is associated with the design selected for this study. Authors compared 3 training protocols without the involvement of a control group.

Conclusion

In conclusion, the replacement of some low-intensity soccer drills with PL combined with strength, sprints and COD exercises during the warm-up may be one potential option to optimize jumping and COD ability during the in-season soccer training.

Future studies may wish to extend these results to other genders, age groups, and competitive level of players. These improvements might aid performance in competition and may reduce injury risk (Arnason et al., 2004).

Practical Applications

This study showed biweekly in-season loaded PL and short sprints with COD training enhances jump performance and COD ability in young soccer players. Therefore, strength and conditioning coaches should incorporate

plyometrics and short sprints with COD training into in-season soccer training to enhance players performance.

Acknowledgments

The authors have no professional relationships with companies or manufacturers that might benefit from the results of this study. There is no financial support for this project. No funds were received for this study from National Institutes of Health, Wellcome Trust, University or others.

References

- Adams, K., O'Shea, J. P., O'Shea, K. L., & Climstein, M. (1992). The Effect of Six Weeks of Squat, Plyometric and Squat-Plyometric Training on Power Production. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(1), 36-41.
- Aloui, G., Hermassi, S., Hayes, L. D., Bouhafs, E. G., Chelly, M. S., & Schwesig, R. (2021). Loaded Plyometrics and Short Sprints with Change-of-Direction Training Enhance Jumping, Sprinting, Agility, and Balance Performance of Male Soccer Players. *Applied Sciences*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/app11125587>
- Arabatzi, F., Kellis, E., & Saèz-Saez De Villarreal, E. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2440-2448. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e274ab>
- Arede, J., Vaz, R., Franceschi, A., Gonzalo-Skok, O., & Leite, N. (2019). Effects of a combined strength and conditioning training program on physical abilities in adolescent male basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(8), 1298-1305. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08961-2>
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical Fitness, Injuries, and Team Performance in Soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 278-285. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA>
- Asadi, A., Arazi, H., Young, W. B., & Sáez 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. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0694>
- Beato, M., Bianchi, M., Coratella, G., Merlini, M., & Drust, B. (2018). Effects of Plyometric and Directional Training on Speed and Jump Performance in Elite Youth Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 289-296. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002371>
- Behrens, M., Mau-Moeller, A., Mueller, K., Heise, S., Gube, M., Beuster, N., Herlyn, P. K. E., Fischer, D.-C., & Bruhn, S. (2016). Plyometric training improves voluntary activation and strength during isometric, concentric and eccentric contractions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(2), 170-176. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.01.011>
- Billot, M., Martin, A., Paizis, C., Cometti, C., & Babault, N. (2010). Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1407-1413. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d43790>
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 273-282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Delhomel, G., Brughelli, M., & Ahmaidi, S. (2010). Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: Repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2715-2722. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf0223>
- Chelly, M. S., Chérif, N., Amar, M. B., Hermassi, S., Fathloun, M., Bouhlel, E., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Relationships of peak leg power, 1 maximal repetition half back squat, and leg muscle volume to 5-m sprint performance of junior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 266-271. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c3b298>
- Coratella, G., Beato, M., & Schena, F. (2016). The specificity of the Loughborough Intermittent Shuttle Test for recreational soccer players is independent of their intermittent running ability. *Research in Sports Medicine (Print)*, 24(4), 363-374. <https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1222279>
- Cronin, J. B., Brughelli, M., Gamble, P., Brown, S. R., & McKenzie, C. (2014). Acute kinematic and kinetic augmentation in horizontal jump performance using haltere type handheld loading. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1559-1564. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000312>
- Datson, N., Hulton, A., Andersson, H., Lewis, T., Weston, M., Drust, B., & Gregson, W. (2014). Applied physiology of female soccer: An update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(9), 1225-1240. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0199-1>
- de Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., & Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 46-52. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0547>
- Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on

- sprint running performance. Current findings and implications for training. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 24(3), 147-156. <https://doi.org/10.2165/00007256-199724030-00001>
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P., & Van Praagh, E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(3), 342-348.
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P. A., & Comfort, P. (2017). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction Speed Performance in Male Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(3), 696-705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001535>
- Faccioni, A. (2007). ASSISTED AND RESISTED METHODS FOR SPEED DEVELOPMENT (PART 1). <https://www.semanticscholar.org/paper/ASSISTED-AND-RESISTED-METHODS-FOR-SPEED-DEVELOPMENT-Faccioni/1760275b35fb2257c3271ed1ab9de37889604cd9>
- Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Keiper, F. B., Tevlin, W., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2007). Effects of a Short-Term Plyometric and Resistance Training Program on Fitness Performance in Boys Age 12 to 15 Years. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(4), 519-525.
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., & Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of Plyometric Exercise Training, Weight Training, and Their Combination on Vertical Jumping Performance and Leg Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
- Faude, O., Roth, R., Di Giovine, D., Zahner, L., & Donath, L. (2013). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: A randomised-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1460-1467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.796065>
- Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suárez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906-914. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1548890>
- Gissis, I., Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Sotiropoulos, A., Komsis, G., & Manolopoulos, E. (2006). Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Research in Sports Medicine* (Print), 14(3), 205-214. <https://doi.org/10.1080/15438620600854769>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Aloui, G., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Combined Plyometric and Short Sprint With Change-of-Direction Training on Athletic Performance of Male U15 Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 662-675. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002870>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Contrast Strength vs. Plyometric Training on Lower-Limb Explosive Performance, Ability to Change Direction and Neuromuscular Adaptation in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2094-2103. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002425>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Suzuki, K., Aouadi, R., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2020). Effects of Unloaded vs. Ankle-Loaded Plyometric Training on the Physical Fitness of U-17 Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), E7877. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217877>
- Hammami, M., Negra, Y., Aouadi, R., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2016). Effects of an In-season Plyometric Training Program on Repeated Change of Direction and Sprint Performance in the Junior Soccer Player. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3312-3320. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001470>
- Herrero, A. J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B., & García-López, D. (2010). Short-term effect of plyometrics and strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance: A randomized controlled trial. Part II. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1616-1622. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d8e84b>
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 573-582. <https://doi.org/10.1080/02640410400021252>
- 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Kobal, R., Pereira, L. A., Zanetti, V., Ramirez-Campillo, R., & Loturco, I. (2017). Effects of Unloaded vs. Loaded Plyometrics on Speed and Power Performance of Elite Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 8, 742. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00742>
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Pappaiakovou, G., & Patikas, D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 369-375. <https://doi.org/10.1519/R-14944.1>
- Kraemer, W. J., & Newton, R. U. (2000). Training for muscular power. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 11(2), 341-368, vii.

- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., De Ste Croix, M. B. A., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., Thomas, D. P., Hatfield, D. L., Cronin, J. B., & Myer, G. D. (2015). Long-term athletic development- part 1: A pathway for all youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1439-1450. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000756>
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 760-767. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0760:eorsto>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0760:eorsto>2.0.co;2)
- López-Segovia, M., Marques, M. C., van den Tillaar, R., & González-Badillo, J. J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in u21 soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 30, 135-144. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0081-2>
- Los Arcos, A., Yanci, J., Mendiguchia, J., Salinero, J. J., Brughelli, M., & Castagna, C. (2014). Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 480-488. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2013-0063>
- Makhlouf, I., Chaouachi, A., Chaouachi, M., Ben Othman, A., Granacher, U., & Behm, D. G. (2018). Combination of Agility and Plyometric Training Provides Similar Training Benefits as Combined Balance and Plyometric Training in Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 9, 1611. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01611>
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543-549. <https://doi.org/10.1519/R-19535.1>
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(10), 859-895. <https://doi.org/10.2165/11318370-000000000-00000>
- Marques, M. C., Pereira, A., Reis, I. G., & van den Tillaar, R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *Journal of Human Kinetics*, 39(1), 157-166. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0078>
- Meylan, C., & Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2605-2613. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b1f330>
- Michailidis, Y., Fatouros, I. G., Primpa, E., Michailidis, C., Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Barbero-Álvarez, J. C., Tsoukas, D., Douroudos, I. I., Draganidis, D., Leontsini, D., Margonis, K., Berberidou, F., & Kambas, A. (2013). Plyometrics' trainability in preadolescent soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 38-49. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541ec6>
- Michailidis, Y., Tabouris, A., & Metaxas, T. (2019). Effects of Plyometric and Directional Training on Physical Fitness Parameters in Youth Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(3), 392-398. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2018-0545>
- Milanović, Z., Sporiš, G., Trajković, N., James, N., & Samija, K. (2013). Effects of a 12 Week SAQ Training Programme on Agility with and without the Ball among Young Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(1), 97-103.
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 593-599. <https://doi.org/10.1080/02640410400021286>
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength & Conditioning Journal*, 16(5), 20-31.
- Otero-Esquina, C., de Hoyo Lora, M., Gonzalo-Skok, Ó., Domínguez-Cobo, S., & Sánchez, H. (2017). Is strength-training frequency a key factor to develop performance adaptations in young elite soccer players? *European Journal of Sport Science*, 17(10), 1241-1251. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1378372>
- Petrakos, G., Morin, J.-B., & Egan, B. (2016). Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(3), 381-400. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0422-8>
- Pienaar, C., & Coetzee, B. (2013). Changes in selected physical, motor performance and anthropometric components of university-level rugby players after one microcycle of a combined rugby conditioning and plyometric training program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 398-415. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825770ea>
- Prieto, M. F., González, J. R., Sáez, E. S. de V., Palma, J. R., García, F. J. I., & Fernández, F. T. G. (2021). Effects of combined plyometric and sled training on vertical jump and linear speed performance in young soccer players. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación*, 42, 228-235.
- Ramirez-Campillo, R., Sanchez-Sanchez, J., Gonzalo-Skok, O., Rodríguez-Fernandez, A., Carretero, M., & Nakamura, F. Y. (2018). Specific Changes in Young

- Soccer Player's Fitness After Traditional Bilateral vs. Unilateral Combined Strength and Plyometric Training. *Frontiers in Physiology*, 9, 265. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00265>
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 669-683. <https://doi.org/10.1080/02640410050120050>
- Reilly, T., & Williams, A. M. (2003). Identifying talented players. En *Science and Soccer* (pp. 315-334). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203417553-28>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Márquez, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(9), 2498-2508. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001706>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 240-246. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0176>
- Rodríguez-Rosell, D., Torres-Torrelo, J., Franco-Marquez, F., Manuel Gonzalez-Suarez, J., & Jose Gonzalez-Badillo, J. (2017). 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. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(7), 695-699. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.010>
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Mohamad, I. N., Mohamad, S., Oliver, J. L., & Hughes, M. G. (2015). The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 374-381. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.955125>
- Sáez 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220fd03>
- Sáez de Villarreal, E., Requena, B., Izquierdo, M., & Jose González-Badillo, J. (2013). Enhancing sprint and strength performance: Combined versus maximal power, traditional heavy-resistance and plyometric training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(2), 146-150. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.05.007>
- Sáez de Villarreal, E. S. S., González-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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818163eade>
- Sáez de Villarreal, E. S.-S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495-506. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b7c6>
- Sáez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ferrete, C. (2015). Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1894-1903. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000838>
- Sáez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ramos Veliz, R. (2015). Enhancing Performance in Professional Water Polo Players: Dryland Training, in-Water Training, and Combined Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1089-1097. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000707>
- Sáez-Sáez de Villarreal, E., Requena, B., & Newton, R. U. (2010). Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 513-522. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.005>
- Sanchez-Sixto, A., Harrison, A. J., & Floria, P. (2021). Effects of Plyometric vs. Combined Plyometric Training on Vertical Jump Biomechanics in Female Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 77(1), 25-35. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0009>
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Smits-Engelsman, B. C. M., Westenberg, Y., & Duysens, J. (2003). Development of isometric force and force control in children. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 17(1), 68-74. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(03\)00081-8](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(03)00081-8)
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L., & Lockie, R. G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 77-85. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00015>
- Spiteri, T., Newton, R., Hart, N., Binetti, M., Sheppard, J., & Nimphius, S. (2015). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 2205-2214. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000876>
- Sporis, G., Jukic, I., Milanovic, L., & Vucetic, V. (2010).

- Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 679-686. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c4d324>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(6), 501-536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(10), 1419-1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Thomas, K., French, D., & Hayes, P. R. (2009). The Effect of Two Plyometric Training Techniques on Muscular Power and Agility in Youth Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 332-335. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318183a01a>
- Webb, P., & Lander, J. (1983). An economical fitness testing battery for high school and college rugby teams. *Sports Coach*, 44-46.
- Wong, P., Chamari, K., & Wisløff, U. (2010). Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 644-652. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ad3349>
- Zamparo, P., Bolomini, F., Nardello, F., & Beato, M. (2015). Energetics (and kinematics) of short shuttle runs. *European Journal of Applied Physiology*, 115(9), 1985-1994. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3180-2>

Datos de los autores:

Carlos Leon Muñoz
Rodrigo Ramírez Campillo
Pablo Traver Gil
Eduardo Sáez de Villarreal Sáez

carlemu@live.com
rodrigo.ramirez@unab.cl
traverpablo98@gmail.com
esaesae@upo.es

Autor/a
Autor/a
Autor/a
Autor/a

Effects of combined plyometric, speed and change of direction training on female soccer players on physical performance.

Efectos del entrenamiento combinado de pliometría, velocidad y cambio de dirección en jugadoras de fútbol sobre el rendimiento físico.

*Carlos León Muñoz, **Rodrigo Ramírez Campillo, ***Pablo Traver Gil, *Eduardo Sáez de Villarreal Sáez
Universidad Pablo de Olavide (España), **Universidad Andrés Bello (Chile), ***Universidad Católica de Valencia (España)

Abstract. The objective of this study is to determine the influence of short-term combined plyometrics (PL), speed and change of direction (COD) training (6 weeks) within regular soccer practice on the jumping, speed and COD of female soccer players during the season. Twenty-three subjects were randomly assigned to PL+ speed + COD (COMB), or control group (CG). Subjects performed 2 sessions per week for 6 weeks. Before and after training contramovement jump (CMJ), contramovement jump with arms (CMJA), 10 metres (m) - 20m sprint and L-RUN tests were analysed. Within-group analysis showed substantial improvements in CMJ (effect size [ES] = 0.92), 20m sprint (ES: <0.001), L-run (ES: <0.001). Between-group analysis showed significant improvements in 20m sprint ($p \leq 0.001$). No significant improvements in CMJ ($p \leq 0.95$); CMJA ($p \leq 0.61$); 10m sprint ($p \leq 0.23$); L-Run ($p \leq 0.24$) in experimental groups in comparison to CG. The replacement of some low-intensity football drills with PL exercises combined with sprints and COD, during warm-up may be a possible option to optimise sprint performance.

Keywords: agility, vertical jump, speed, acceleration, soccer player, plyometrics, strength

Resumen. El objetivo de este estudio es determinar la influencia del entrenamiento combinado a corto plazo de pliometría (PL), velocidad y cambio de dirección (COD) dentro de la práctica regular del fútbol en los saltos, la velocidad y el cambio de dirección de jugadoras de fútbol durante la temporada. Veintitrés sujetos fueron asignados al azar a PL + velocidad + COD (COMB) o al grupo de control (GC). Los sujetos realizaron 2 sesiones por semana durante 6 semanas. Antes y después del entrenamiento, se analizaron los saltos con contramovimiento (CMJ), salto con contramovimiento con brazos (CMJA), sprints de 10 metros (m) - 20 metros y pruebas L-RUN. El análisis dentro del grupo mostró mejoras sustanciales en CMJ (tamaño del efecto [ES] = 0.92), sprint de 20 m (ES: <0.001), L-run (ES: <0.001). El análisis entre grupos mostró mejoras significativas en el sprint de 20 metros ($p \leq 0.001$). No se observaron mejoras significativas en CMJ ($p \leq 0.95$); CMJA ($p \leq 0.61$); sprint de 10 m ($p \leq 0.23$); L-Run ($p \leq 0.24$) en los grupos experimentales en comparación con el GC. La sustitución de algunos ejercicios de fútbol de baja intensidad con ejercicios de PL combinados con sprints y COD, durante el calentamiento, podría ser una opción posible para optimizar el rendimiento en sprint.

Palabras clave: agilidad, salto vertical, velocidad, aceleración, jugador de fútbol, pliometría, fuerza.

Fecha recepción: 11-02-24 / **En proceso de revisión**

Carlos León Muñoz
carlemu@live.com

Introduction

Women's football has become more popular and more participated over the last decade. Due to the growth of women's football, women players are now more exposed to the physical demands of the game than ever before. Therefore, in order to develop better training programmes, it is necessary to have a better understanding of the changes in players' performance (Pardos-Mainer et al., 2021). Despite this, there is still very little scientific literature on this topic.

In today's football, players are required to be more and more athletic. This makes the physical and physiological demands more important in both young and senior soccer players. Within these demands we find actions that occur at moderate intensity (jogging), low-intensity (walking) and actions that occur at high intensity (i.e., sprinting, jumping, cutting, COD, or ball-shooting) (Sáez de Villarreal et al., 2015). If a match is analysed, it is observed that approximately one player performs 1,350 actions (every 4-6 seconds), of which high-intensity actions stand out, such as accelerations/decelerations, COD and jumps, since they are the most decisive actions in a match (Mohr et al., 2005).

Therefore, with the aim of improving performance, the improvement of these capacities, allowing the athlete to perform faster and more powerful movements, will be a key component in the soccer player's training (Beato et al., 2018; Mohr et al., 2003).

In both female and male soccer, speed, agility, and power are essential skills. Therefore, players who demonstrate superiority over others in these qualities are frequently selected (Reilly & Williams, 2003). Thus, the training sessions should not only incorporate tasks at a technical-tactical level but should also incorporate tasks that require the high intensity actions mentioned above that require high muscle strength levels, especially in lower body (Prieto et al., 2021; Suchomel et al., 2016). A myriad of training methods, including strength, PL, speed, COD, combined methods has been studied for researchers to develop sprint, vertical jump, and agility performance (Delecluse, 1997; Dos'Santos et al., 2017; Sáez de Villarreal et al., 2013; E. S.-S. Sáez de Villarreal et al., 2009).

PL training methodology largely supported by scientific literature (Asadi et al., 2016; E. Sáez de Villarreal et al., 2012; E. S.-S. Sáez de Villarreal et al., 2009; Sáez-Sáez de Villarreal et al., 2010). In female soccer players, it has been shown that PL training provides a sufficient

stimulus to improve explosive actions (Ozbar et al., 2014; Ramírez-Campillo et al., 2016; Rubley et al., 2011). PL includes jumping exercises using the stretch-shortening cycle (SSC) muscle action, this is a capacity of the Musculotendinous and nervous system that produces maximum force in the shortest amount of time during a rapid transition from an eccentric contraction to a concentric contraction. of the muscle (Markovic et al., 2007; Markovic & Mikulic, 2010). It is important to mention that most of the lower-body movements in football are performed unilaterally. Thus, it is necessary to consider incorporating multidirectional unilateral plyometrics exercises in the soccer specific strength training interventions (Ramírez-Campillo et al., 2018).

Efficiency when making a COD will depend on higher levels of motor control and balance, a minimum loss of speed and a short and maximal efforts with brief recovery periods (Hammami, Gaamouri, Aloui, et al., 2019; Sporis et al., 2010). It has previously been reported athletes who are habituated to performing different CODs and short shuttle runs become considerably more economical during those specific actions. A training program that includes repeated COD is necessary to develop agility (Beato et al., 2018; Coratella et al., 2016; Zamparo et al., 2015).

In order to maximize gains, using the Resisted method consists of performing the same exercises but adding an overload on the athlete (Rumpf et al., 2015). The overload during explosive actions causes greater neural activation, and a greater recruitment of fast contracting motor units (Faccioni, 2007). In this regard, the optimal resisted load for sprint training has not been established yet (Petraikos et al., 2016). Despite this, the authors recommend that the weight used not decrease more than 10% of the performance achieved without weight because it can produce important changes in the mechanics of the athlete (Lockie et al., 2003; Spinks et al., 2007).

The combination of different training methods seems to be an efficient way to improve neuromuscular performance during explosive actions such as jumps, COD or sprints (Newton & Kraemer, 1994; Sáez de Villarreal et al., 2013). The most studied combination has been Strength and PL, and it has been shown to be an effective method for improving the performance of these soccer motor skills (Adams et al., 1992; Fatouros et al., 2000). Therefore, training programs that combine strength and PL are recommended for soccer players. The time available for most non-elite or academy soccer teams for strength-training sessions during the in-season period is very limited. The search for time-efficient strategies that concurrently enhance performance in specific skills while preventing injuries is crucial (Prieto et al., 2021). There-

fore, coaches and sport scientists have been making significant efforts to identify the best combinations between different modes of strength-power exercises and training strategies (Arede et al., 2019; Faude et al., 2013; Herrero et al., 2010).

In female, performance improvements have been obtained with combinations of PL+ strength training (Floría et al., 2019; Guadalupe-Grau et al., 2009) PL + balance (Bouteraa et al., 2020; Sanchez-Sixto et al., 2021), PL+ electrostimulation (Martinez-Lopez et al., 2012). In male soccer, performance improvements have been obtained with different combinations of PL + speed (Hammami, Gaamouri, Aloui, et al., 2019; Prieto et al., 2021; Saez de Villarreal et al., 2015), PL+ strength +speed (Faude et al., 2013; Otero-Esquina et al., 2017; Rodriguez-Rosell et al., 2016, 2017). However, there are a lack of such studies in women's soccer, so it is not possible to extrapolate these results and it is necessary to analyse the combinations of different training methods in women's soccer.

Considering the above considerations, the aim of this study was to examine the effects of a PL program supplemented with sprint and COD training program during season in specific explosive actions (speed, COD and jump) among female soccer players. It was hypothesized that the combination of soccer technical exercises and the proposed combined specific training program over a 6-week period would improve players' explosive actions (sprint, COD and jump) to a greater extent than the CG.

Methods

Experimental Approach to the Problem

This study was designed to investigate whether significant increases in lower-body muscle power could be obtained in female soccer players if the first part of their regular training program (i.e., 20 min of tactical and technical drills) was replaced by 6 weeks of combined training (vertical, horizontal, and lateral jumping, sprints, and COD exercises).

The effects of 6 weeks of combined training were compared in combined training groups vs a CG. None of the groups undertook any other training other than the standard soccer training regimen. All subjects were evaluated before (Pre) and after 6 weeks of training (Post) using a battery of tests performed in the following order: (a) CMJ; (b) CMJA; (c) 10-20 m all-out running sprints; and (d) L-RUN change of direction test. The intervention was carried out during the final period of the season (April–May). During the week preceding this study, one preliminary familiarization session was undertaken to ensure a proper execution technique in both 10.20 m sprint, L-RUN, CMJ and CMJA exercises.

Subjects

31 trained female soccer players around 21.6 ± 3.42 years volunteered for this study. The subjects were recruited from the same Spanish and were competing in national division. After the initial evaluation, the 31 soccer players in each cohort were randomized divided into two groups one team whose players participated in plyometric combined with speed and COD training (COMB1, $n=11$) and the other team whose players were enrolled in CG ($n=12$). Only those players who participated in at least 70% of all training sessions (23 players) were included into statistical analyses. Because of injury, illness, or abandon the study 8 players (5 COMB and 3 CG) missed too many training sessions or were absent from the post testing session (Figure 1). Player's characteristics are displayed in Table 1. Subjects were soccer trained for more than 11.2 ± 4.09 (COMB), and 11.8 ± 2.73 (CG) years. Subjects had experience in weight training, they did not perform strength training as part of their normal training routine. To be included in the study, they were injury free for at least 3 months before participating in the study. Coach and players were informed about the different tests procedures performed during the study. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and conforms to the Code of Ethics of the World Medical Association. The study was approved by the Research Ethics Committee of Pablo de Olavide University. Players signed informed consent for all players under the age of 18 involved in this investigation were obtained, as well as participant's assent

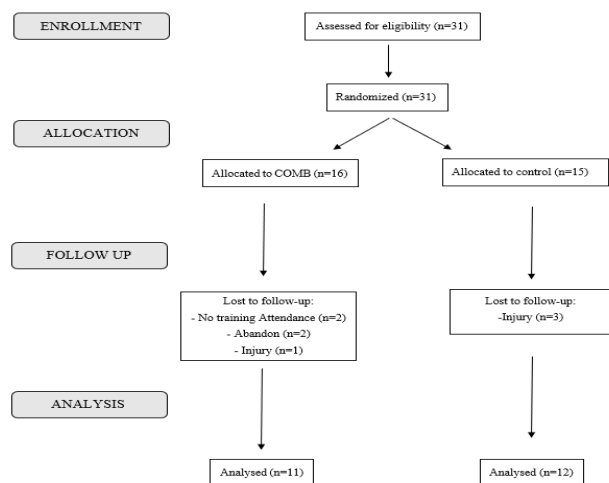


Figure 1. Consort diagram

Table 1: Characteristics of the groups (mean \pm

SD).

Group	Age (y)	Height (cm)	Body weight (kg)	Soccer experience (y)
COMB	23.4 ± 3.96	163 ± 3.41	57.3 ± 3.8	11.2 ± 4.09
Control	19.9 ± 1.73	163 ± 7.75	60.3 ± 7.55	11.8 ± 2.73

Testing procedure

Anthropometric measurements were taken before the physical testing. The standing height (centimetres) and body mass (kilograms) were measured. Neuromuscular performance was assessed before and after training using a battery of tests performed in two sessions, the first one for vertical jump and the second one for velocity and COD as described below. The tests were performed after 48 hours of rest from the last training or competition session. Testing sessions were performed at the same venue and time of day (± 0.5 hour). Strong verbal encouragement was provided during all tests to motivate subjects to give a maximal effort

Vertical Jump

A warm-up was completed before the test, consisted of 5 min of running, 2 sets of 10 repetitions of submaximal squat without extra load, 1 set of 10 submaximal CMJ and 1 set of 10 submaximal CMJA. Thereafter the athletes performed the CMJ. From an upright position, participants performed a rapid downward movement to a knee angle of $\sim 90^\circ$ and simultaneously beginning to push-off. For the CMJA, from an upright position, participants performed a rapid downward movement to a knee angle of $\sim 90^\circ$ and simultaneously beginning to push-off, with arm-swing. The height of the jump was measured with a jump mat (Chronojump Boscosystems). Each player performed three maximal jumps, with an inter-trial rest of 45-second. The highest jump was used in subsequent analyses.

10-20 Meter Sprint Performance test.

The warm-up protocol consisted of 5 min of running and 2 sets of 4 progressively faster 10-20-m running accelerations, was followed in the pre-test and post-test. Individuals started from a standing position, with the front foot 0.2 m from the first photocell beam. Subjects were required to give an all-out maximal effort in each sprint and the best of the three trials was kept for subsequent analysis. Subjects ran 10-20 m recorded by paired photocells (Microgate, Bolzano, Italy). Three trials were separated by 3 minutes of recovery.

L-RUN test

The warm-up protocol consisted of three submaximal trials. Three cones were placed 5 m apart in an "L" shape. The front foot was placed 0.2 m before the first timing gate at the beginning of the test. Players started in the standing position and were required to run forward 5 m, then turn to their left, run forward 5m, then turn 180° , and follow the same course to return to the start/finish line (Webb & Lander, 1983). The test was completed when the participant crossed the start/finish line. The cones used were 0.5 m in height. Players were instructed to run as quickly as possible along the "L". Times were registered through photocells (Microgate,

Bolzano, Italy). Three trials, separated by 3 min rest, were completed, and the best performance trial was used for further analysis.

Strength Training Program

Training groups trained twice a week on Tuesday and Thursday, for a period of 6 weeks. Intervention training sessions lasted ~20 minutes. Table 2 describes the training program. In all sessions, warm-up consisted of 5 minutes of jogging. The training program for the COMB groups was divided into two blocks of 3 weeks, the first three weeks performing all exercises with body weight and the following three weeks with ~9% of body weight of the group average added to all exercises by a weight vest. The PL work was divided into two days: the first day of the week jumps were performed with both legs and the second day jumps were performed with one leg. The Comb group performed 75 jumps and 9 sprints with COD. All the series finished with a finish in mini goals.

Statistical Analyses

Descriptive statistics (mean \pm Standard Deviation (SD)) for the different variables were calculated. Independent samples T-tests were executed to analyse differences between the two experimental groups for anthropometrics (height, weight). An analysis of variance (ANOVA) with repeated measures (Group \times Time) was used to analyse performance variables after training (pre and post intervention). When the ANOVA revealed significant main effects or interactions, a Bonferroni post hoc test was applied to test the discrimination between means. The statistical significance level was set at $p < 0.05$. Effect sizes were interpreted using previously outlined ranges (< 0.2 = trivial; $0.2-0.6$ = small, $0.6-1.2$ = moderate, $1.2-2.0$ = large, $2.0-4.0$ = very large, > 4.0 = extremely large) (Hopkins et al., 2009). The smallest effect was classified as 0.2 of the between-subject standard deviation (Hopkins et al., 2009).

Table 2.
Training program

PROGRAM	BLOCK 1		BLOCK 2	
	DAY 1 Sessions 1-3-5	DAY 2 Sessions 2-4-6	DAY 1 Sessions 7-9-11	DAY 2 Sessions 8-10-12
Combined training				
Box jump	5X3	---	5X3	---
Landing jump	---	5X3	---	---
Drop jump	---	---	---	5X3
Horizontal jump 2 legs	10X3	---	10X3	---
Horizontal jump 1 leg	---	10X3	---	10X3
Lateral jump 2 legs	10X3	---	10X3	---
Lateral jump 1 leg	---	10X3	---	10X3
5 meters sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
10 meters sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
20 meters sprint	1X3	1X3	1X3	1X3
45° COD	1X3	1X3	1X3	1X3
90° COD	1X3	1X3	1X3	1X3
180° COD	1X3	1X3	1X3	1X3

Results

No significant differences in the anthropometric variables measured (body weight and height) were observed in the pre-test between the experimental and CG.

Vertical Jump

Statistically significant increases ($p \leq 0.012$) occurred in the COMB group in CMJ (centimetres) (COMB [2,3 cm, ES = 0.92]). No statistically significant increases ($p \leq 0.08$) occurred in CMJA (centimetres) (COMB [1.4 cm, ES = 0.59]). No Significant differences ($p \leq 0.95$); ($p \leq 0.61$) in CMJ and CMJA respectively were observed after training in the magnitude of the increase between the experimental group and CG (Table 3).

Sprint Time

Statistically significant increases ($p \leq 0.001$) occurred in the COMB group in 20m test (Seconds) (COMB [0.13 sec, ES = 1.99]). No Statistically significant increases ($p \leq 0.45$) occurred in the COMB group in 10m test (Seconds) (COMB1 [0.01 sec, ES = 0.24]). Significant differences ($p \leq 0.001$) in 20Mmtest were observed after training in the magnitude of the increase between the experimental group and CG. No Significant differences ($p \leq 0.23$) in 10m test were observed after training in the magnitude of the increase between the experimental group and CG (Table 3).

L-Run test

Statistically significant increases ($p \leq 0.001$) occurred in the COMB group in L-Run test (Seconds) (COMB [0.61 sec, ES = 1.41]). No Significant differences ($p \leq 0.24$) in L-run test were observed after training in the magnitude of the increase between the experimental group and CG (Table 3).

Table 3: Within-group analysis: baseline and follow-up scores, effect sizes, confidence limits, and P value.

Group	Test	Baseline \pm SD	Follow-up \pm SD	Effect size and CI	P	Effect description
COMB group	CMJA	31.8 \pm 3.13	33.2 \pm 3.87	0.59 (-0.07 to 1.22)	0.08	Small
	CMJ	27.6 \pm 2.76	29.9 \pm 4.03*	0.924 (0.2 to 1.62)	0.012	Moderate
	10M Sprint	1.94 \pm 0.06	1.93 \pm 0.08	0.24 (-0.37 to 0.83)	0.448	Small
	20M Sprint	3.53 \pm 0.06	3.4 \pm 0.11***	1.99 (0.93 to 3.01)	<0.001	Large
Control group	L-Run	8.73 \pm 0.33	8.12 \pm 0.36***	1.41 (0.55 to 2.25)	<0.001	Large
	CMJA	28.8 \pm 3.63	30.7 \pm 3.81***	1.31 (0.51 to 2.08)	<0.001	Large
	CMJ	26.2 \pm 4.16	28.5 \pm 4.34***	1.56 (0.69 to 2.41)	<0.001	Large
	10M Sprint	1.95 \pm 0.1	1.97 \pm 0.08	-0.28 (-0.85 to 0.31)	0.360	Small
	20M Sprint	3.41 \pm 0.1	3.44 \pm 0.13	-0.46 (-1.05 to 0.15)	0.139	Small
L-Run	8.96 \pm 0.19	8.52 \pm 0.19***	1.91 (0.93 to 2.86)	<0.001	Large	

Discussion

The aim of this study was to examine the effect of substituting some regular in-season training with 6 weeks of biweekly combined PL with short sprints and COD training in female soccer players during the season to maximize physical performance (i.e., jumping, sprint and COD). In this context, we accept our hypothesis in that combined PL method with speed and change of direction in-season would improve 20m sprint performance in a group of female soccer players compared with CG. However, we found no significant changes in jump, COD and 10m sprint performance tests. When comparing changes between the COMB group and the CG. Thus, the study hypothesis for these variables was not confirmed, thus accepting the alternative hypothesis.

Our results revealed that, compared with pre-training, the COMB group significantly increased speed performance by 0.13s (ES: 1.99; $p < 0.001$) for 20m sprint and even the increase in 10m sprint was not significant, the tendency was positive 0.01s, (ES: 0.24; $p < 0.45$) for 10m sprint, compared with CG were the they performance decrease in both tests 10m (ES: -0.28; $p < 0.36$) and 20m (ES: -0.46; $p < 0.139$). These results tend to support most of the previous published studies performed examining these types of training interventions with soccer players (Marques et al., 2013; Otero-Esquina et al., 2017; Sáez de Villarreal et al., 2015). It has been reported sprinting is highly dependent on the ability to generate relative peak force, rate of force development (RFD) and peak power output capability muscular power in the extension of the ankle, knee, and hip joints (Haff & Nimphius, 2012). The application of resisted methods causes adaptations such as: increased RFD and increased muscle strength (Alcaraz et al., 2014; Harrison & Bourke, 2009; Lockie et al., 2012; Spinks et al., 2007). It has also been suggested that it can lead to increased neural activation with increasing exercise load (Cissik, 2004), increased recruitment of fast twitch motor units (Upton, 2011) and improved intermuscular coordination (Faccioni, 2007; Young, 2006). Beyond physiological adaptations, a positive transfer to kinematics (contact time, flight time, stride amplitude and frequency, etc.) can also be found, resulting in increased

performance (Alcaraz et al., 2014; Cross et al., 2014; Murphy et al., 2003).

The success of a vertical jump is determined by the velocity at take-off, and reductions of time between eccentric and concentric movement during PL training allow an athlete to become faster and more powerful through improvements in muscle, tendon, and nerve function (Asadi et al., 2016; Behrens et al., 2016). The success on improving jump height during PL training are attributable to neural adaptations rather than morphologic changes (E. S. S. Sáez de Villarreal et al., 2008). Nevertheless, neither muscle mass nor neuromuscular variables were assessed in the present study. Further studies focusing on neuromuscular factors are required in order to corroborate this for soccer players. Adaptations to training are likely to be neural because these predominate in the early stages of strength and power training (Billot et al., 2010) and have been shown to be the main adaptation to PL exercise (Diallo et al., 2001; Michailidis et al., 2013). Neural adaptations are associated with improvement in maximal voluntary contraction, more synergistic muscle activation and less antagonistic muscle activation (i.e., intermuscular coordination), greater motor unit recruitment (i.e., intramuscular coordination) and stretch reflex excitability (Markovic & Mikulic, 2010). Furthermore, Kobal et al. (Kobal et al., 2017) reported that the use of additional load during executed jumps allowed players to apply greater force against the ground in the direction of intended movement (vertical or horizontal axes) on a longer period of time. This mechanical adjustment generates higher impulses (possibly additional overload) during jumps (Cronin et al., 2014), thus producing a greater adaptation of jumping ability in the loaded group (Kobal et al., 2017).

Despite, in this study even significant improvements were observed in vertical jump CMJ (ES: 0.92; $p < 0.012$) and not statistically significant but with a positive tendency (ES: 0.59; $p < 0.08$) between baseline and post-test in the combined group. When the results were analysed with the CG, no significant different were found. Therefore, it can be concluded that the regular

soccer training sessions were enough to improve the vertical jump ability in both groups. The lack of improvement of the COMB group with respect to the control group could be due to the fact that the training applied has not produced a sufficient stimulus, when different frequencies are compared it has been observed that higher training frequencies obtain better results than lower frequencies, 3 days compared to 1 or 2 days and 2 days compared to 1 day (Graves et al., 1988; Häkkinen & Kallinen, 1994; Turpela et al., 2017). Being a group of semi-professional level players, the effects of a higher training frequency should be studied, since it has been seen that elite athletes in other sports, for example elite weightlifters, can benefit from using training frequencies between 8 and 12 sessions per week (Häkkinen et al., 1988; Zatsiorsky & Kraemer, 1995).

The combined methodology has been applied in several recent investigations performed in soccer players where incorporate the use of loaded and unloaded combined PL with sprints or COD or both (Beato et al., 2018; Hammami et al., 2016, 2020; Michailidis et al., 2019; Prieto et al., 2021; Saez de Villarreal et al., 2015). However, our data are in disagreement with investigations in soccer players which have described improved jump performance following combined PL with strength sprints and COD training (Franco-Márquez et al., 2015; Rodríguez-Rosell et al., 2017, 2017). Further studies are needed to corroborate if the combination of methods is more beneficial for the vertical jump than the soccer practice alone in semi-professional women players.

To understand the adaptations that underlie after the training program to COD performance it has to be understood that the COD ability refers to a replanned movement where no immediate reaction to a stimulus is required. It is affected by the individual's strength, power, and speed (Sheppard & Young, 2006). The fastest performance in COD speed test is mainly described by higher contribution of isometric and eccentric strength capacities, as well as higher braking and propulsive forces, lower contact time, time spent braking and propulsive (Spiteri et al., 2015). However, given the multiple-component of the COD movements, the implement of exercise tasks that produced eccentric overload (de Hoyo et al., 2015), unilateral training (Buchheit et al., 2010), multidirectional movements (backward and/or forward and lateral directions) (Los Arcos et al., 2014), and angle- or movement-specific tasks (Milanović et al., 2013), may be more beneficial than implemented and one in isolation.

Moreover, some studies following these guidelines examined the effects of combined training on COD and observed significant improvements after training (Aloui et al., 2021; Hammami et al., 2020; Hammami, Gaamouri, Shephard, et al., 2019; Makhoul et al., 2018; Sáez de Villarreal et al., 2015). Nevertheless, in

this study, no significant improvements were observed in COD test between groups what is in accordance with the findings obtained in several recent investigations (Arede et al., 2019; Beato et al., 2018; Michailidis et al., 2019). In addition, dissimilarities in acute program variables (duration, intensity, and frequency) and methodology (period and duration of studies and age, gender, and competitive level of players) could contribute to discrepancies between study results. The protocols proposed in the current study used a training frequency of 2 sessions a week that seems not sufficient stimulus to improve power parameters in female soccer players.

In summary, this data clearly demonstrated that adding combined plyometric and sprint training in previously trained female soccer players seems to be a good stimulus for improving speed in 10m and 20m. Although, improvements in jumping and agility ability could not be demonstrated, more studies are needed to obtain stronger conclusions.

This study has some limitations. The first limitation is associated with the small sample enrolled. A bigger sample could have offered a better view about the effect obtained by the three protocols. A justification of such sample size is associated with the specificity of the population enrolled and with the restrictive access to soccer players in season. The second limitation is gender related. We cannot speculate that our results can be extended to other specific populations (e.g., elite male players). The third limitation is the time of the intervention, longer training periods may produce greater gains than the control group.

Conclusion

In conclusion, the replacement of some low-intensity soccer drills with PL combined with sprints and COD exercises during the warm-up may be one potential option to optimize Sprint performance during the in-season soccer training. However, no improvements were observed in jumping and COD ability when results were compared with CG. Future studies may wish to compare these results to other genders, age groups, and competitive level of players. These improvements in speed performance might aid performance in competition and may reduce injury risk (Arnason et al., 2004).

Practical Applications

This study showed biweekly in-season loaded PL and short sprints with COD training enhances Sprint performance and even didn't improve jumping and COD ability in female soccer players, this intervention can be implemented due to possible beneficial effects of the combination of methods in the same session discussed above.

Therefore, strength and conditioning coaches should incorporate PL and short sprints with COD training into in-season soccer training to enhance players performance.

Acknowledgments

The authors have no professional relationships with companies or manufacturers that might benefit from the results of this study. There is no financial support for this project. No funds were received for this study from National Institutes of Health, Welcome Trust, University, or others.

References

- Adams, K., O'Shea, J. P., O'Shea, K. L., & Climstein, M. (1992). The Effect of Six Weeks of Squat, Plyometric and Squat-Plyometric Training on Power Production. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(1), 36-41.
- Alcaraz, P. E., Elvira, J. L. L., & Palao, J. M. (2014). Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(2), 279-290. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x>
- Aloui, G., Hermassi, S., Hayes, L. D., Bouhaf, E. G., Chelly, M. S., & Schwesig, R. (2021). Loaded Plyometrics and Short Sprints with Change-of-Direction Training Enhance Jumping, Sprinting, Agility, and Balance Performance of Male Soccer Players. *Applied Sciences*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/app11125587>
- Arede, J., Vaz, R., Franceschi, A., Gonzalo-Skok, O., & Leite, N. (2019). Effects of a combined strength and conditioning training program on physical abilities in adolescent male basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(8), 1298-1305. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08961-2>
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical Fitness, Injuries, and Team Performance in Soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 278-285. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA>
- Asadi, A., Arazi, H., Young, W. B., & Sáez 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. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0694>
- Beato, M., Bianchi, M., Coratella, G., Merlini, M., & Drust, B. (2018). Effects of Plyometric and Directional Training on Speed and Jump Performance in Elite Youth Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 289-296. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002371>
- Behrens, M., Mau-Moeller, A., Mueller, K., Heise, S., Gube, M., Beuster, N., Herlyn, P. K. E., Fischer, D.-C., & Bruhn, S. (2016). Plyometric training improves voluntary activation and strength during isometric, concentric and eccentric contractions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(2), 170-176. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.01.011>
- Billot, M., Martin, A., Paizis, C., Cometti, C., & Babault, N. (2010). Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1407-1413. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d43790>
- Bouteraa, I., Negra, Y., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2020). Effects of Combined Balance and Plyometric Training on Athletic Performance in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(7), 1967-1973. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002546>
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Delhomel, G., Brughelli, M., & Ahmaidi, S. (2010). Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: Repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2715-2722. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf0223>
- Cissik, J. M. (2004). Means and Methods of Speed Training, Part I. *Strength & Conditioning Journal*, 26(4), 24-29.
- Coratella, G., Beato, M., & Schena, F. (2016). The specificity of the Loughborough Intermittent Shuttle Test for recreational soccer players is independent of their intermittent running ability. *Research in Sports Medicine (Print)*, 24(4), 363-374. <https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1222279>
- Cronin, J. B., Brughelli, M., Gamble, P., Brown, S. R., & McKenzie, C. (2014). Acute kinematic and kinetic augmentation in horizontal jump performance using haltere type handheld loading. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1559-1564. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000312>
- Cross, M. R., Brughelli, M. E., & Cronin, J. B. (2014). Effects of vest loading on sprint kinetics and kinematics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), 1867-1874. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000354>
- de Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., & Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology*

- and Performance, 10(1), 46-52. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0547>
- Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance. Current findings and implications for training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 24(3), 147-156. <https://doi.org/10.2165/00007256-199724030-00001>
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P., & Van Praagh, E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(3), 342-348.
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P. A., & Comfort, P. (2017). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction Speed Performance in Male Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(3), 696-705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001535>
- Faccioni, A. (2007). ASSISTED AND RESISTED METHODS FOR SPEED DEVELOPMENT (PART 1). <https://www.semanticscholar.org/paper/ASSISTED-AND-RESISTED-METHODS-FOR-SPEED-DEVELOPMENT-Faccioni/1760275b35fb2257c3271ed1ab9de37889604cd9>
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., & Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of Plyometric Exercise Training, Weight Training, and Their Combination on Vertical Jumping Performance and Leg Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
- Faude, O., Roth, R., Di Giovine, D., Zahner, L., & Donath, L. (2013). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: A randomised-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1460-1467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.796065>
- Floría, P., Sánchez-Sixto, A., & Harrison, A. J. (2019). Application of the principal component waveform analysis to identify improvements in vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 37(4), 370-377. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1504602>
- Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suárez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906-914. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1548890>
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M., & Bishop, L. E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *International Journal of Sports Medicine*, 9(5), 316-319. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1025031>
- Guadalupe-Grau, A., Perez-Gomez, J., Olmedillas, H., Chavarren, J., Dorado, C., Santana, A., Serrano-Sanchez, J. A., & Calbet, J. a. L. (2009). Strength training combined with plyometric jumps in adults: Sex differences in fat-bone axis adaptations. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1100-1111. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91469.2008>
- Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34(6), 2-12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31826db467>
- Häkkinen, K., & Kallinen, M. (1994). Distribution of strength training volume into one or two daily sessions and neuromuscular adaptations in female athletes. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 34(2), 117-124.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(2), 133-139. <https://doi.org/10.1007/BF00640652>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Aloui, G., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Combined Plyometric and Short Sprint with Change-of-Direction Training on Athletic Performance of Male U15 Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 662-675. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002870>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Contrast Strength vs. Plyometric Training on Lower-Limb Explosive Performance, Ability to Change Direction and Neuromuscular Adaptation in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2094-2103. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002425>
- Hammami, M., Gaamouri, N., Suzuki, K., Aouadi, R., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2020). Effects of Unloaded vs. Ankle-Loaded Plyometric Training on the Physical Fitness of U-17 Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), E7877. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217877>
- Hammami, M., Negra, Y., Aouadi, R., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2016). Effects of an In-season Plyometric Training Program on Repeated Change of Direction and Sprint Performance in the Junior Soccer Player. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3312-3320. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001470>

- Harrison, A. J., & Bourke, G. (2009). The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 275-283. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b81f>
- Herrero, A. J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B., & García-López, D. (2010). Short-term effect of plyometrics and strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance: A randomized controlled trial. Part II. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1616-1622. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d8e84b>
- 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Kobal, R., Pereira, L. A., Zanetti, V., Ramirez-Campillo, R., & Loturco, I. (2017). Effects of Unloaded vs. Loaded Plyometrics on Speed and Power Performance of Elite Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 8, 742. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00742>
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1539-1550. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234e8a0>
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 760-767. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0760:eorsto>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0760:eorsto>2.0.co;2)
- Los Arcos, A., Yanci, J., Mendiguchia, J., Salinero, J. J., Brughelli, M., & Castagna, C. (2014). Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 480-488. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0063>
- Makhlouf, I., Chaouachi, A., Chaouachi, M., Ben Othman, A., Granacher, U., & Behm, D. G. (2018). Combination of Agility and Plyometric Training Provides Similar Training Benefits as Combined Balance and Plyometric Training in Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 9, 1611. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01611>
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543-549. <https://doi.org/10.1519/R-19535.1>
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(10), 859-895. <https://doi.org/10.2165/11318370-000000000-00000>
- Marqués, M. C., Pereira, A., Reis, I. G., & van den Tillaar, R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *Journal of Human Kinetics*, 39(1), 157-166. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0078>
- Martinez-Lopez, E. J., Benito-Martinez, E., Hita-Contreras, F., Lara-Sanchez, A., & Martinez-Amat, A. (2012). Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(4), 727-735.
- Michailidis, Y., Fatouros, I. G., Primpa, E., Michailidis, C., Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Barbero-Álvarez, J. C., Tsoukas, D., Douroudos, I. I., Draganidis, D., Leontsini, D., Margonis, K., Berberidou, F., & Kambas, A. (2013). Plyometrics' trainability in pre-adolescent soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 38-49. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541ec6>
- Michailidis, Y., Tabouris, A., & Metaxas, T. (2019). Effects of Plyometric and Directional Training on Physical Fitness Parameters in Youth Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(3), 392-398. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0545>
- Milanović, Z., Sporiš, G., Trajković, N., James, N., & Samija, K. (2013). Effects of a 12 Week SAQ Training Programme on Agility with and without the Ball among Young Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(1), 97-103.
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 593-599. <https://doi.org/10.1080/02640410400021286>
- Murphy, A. J., Lockie, R. G., & Coutts, A. J. (2003). Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2(4), 144-150.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength & Conditioning Journal*, 16(5), 20-31.
- Otero-Esquina, C., de Hoyo Lora, M., Gonzalo-Skok, Ó., Domínguez-Cobo, S., & Sánchez, H. (2017). Is

- strength-training frequency a key factor to develop performance adaptations in young elite soccer players? *European Journal of Sport Science*, 17(10), 1241-1251.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1378372>
- Ozbar, N., Ates, S., & Agopyan, A. (2014). The effect of 8-week plyometric training on leg power, jump and sprint performance in female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2888-2894.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000541>
- Pardos-Mainer, E., Lozano, D., Torrontegui-Duarte, M., Cartón-Llorente, A., & Roso-Moliner, A. (2021). Effects of Strength vs. Plyometric Training Programs on Vertical Jumping, Linear Sprint and Change of Direction Speed Performance in Female Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 401.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18020401>
- Petrakos, G., Morin, J.-B., & Egan, B. (2016). Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(3), 381-400.
<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0422-8>
- Prieto, M. F., González, J. R., Sáez, E. S. de V., Palma, J. R., García, F. J. I., & Fernández, F. T. G. (2021). Effects of combined plyometric and sled training on vertical jump and linear speed performance in young soccer players. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación*, 42, 228-235.
- Ramirez-Campillo, R., Sanchez-Sanchez, J., Gonzalo-Skok, O., Rodríguez-Fernandez, A., Carretero, M., & Nakamura, F. Y. (2018). Specific Changes in Young Soccer Player's Fitness After Traditional Bilateral vs. Unilateral Combined Strength and Plyometric Training. *Frontiers in Physiology*, 9, 265.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00265>
- Ramírez-Campillo, R., Vergara-Pedrerros, M., Henríquez-Olguín, C., Martínez-Salazar, C., Alvarez, C., Nakamura, F. Y., De La Fuente, C. I., Caniquero, A., Alonso-Martinez, A. M., & Izquierdo, M. (2016). Effects of plyometric training on maximal-intensity exercise and endurance in male and female soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 34(8), 687-693.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1068439>
- Reilly, T., & Williams, A. M. (2003). Identifying talented players. In *Science and Soccer* (pp. 315-334). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203417553-28>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Márquez, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(9), 2498-2508.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001706>
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined with Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 240-246.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0176>
- Rodríguez-Rosell, D., Torres-Torrelo, J., Franco-Marquez, F., Manuel Gonzalez-Suarez, J., & Jose Gonzalez-Badillo, J. (2017). 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. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(7), 695-699.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.010>
- Rubley, M. D., Haase, A. C., Holcomb, W. R., Girouard, T. J., & Tandy, R. D. (2011). The effect of plyometric training on power and kicking distance in female adolescent soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 129-134.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b94a3d>
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Mohamad, I. N., Mohamad, S., Oliver, J. L., & Hughes, M. G. (2015). The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 374-381.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2014.955125>
- Sáez 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.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220fd03>
- Sáez de Villarreal, E., Requena, B., Izquierdo, M., & Jose Gonzalez-Badillo, J. (2013). Enhancing sprint and strength performance: Combined versus maximal power, traditional heavy-resistance, and plyometric training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(2), 146-150.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.05.007>
- Sáez de Villarreal, E. S. S., González-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.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318163eade>
- Sáez de Villarreal, E. S.-S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495-

506.

- <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b7c6>
Sáez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ferrete, C. (2015). Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1894-1903. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000838>
- Sáez-Sáez de Villarreal, E., Requena, B., & Newton, R. U. (2010). Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 513-522. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.005>
- Sanchez-Sixto, A., Harrison, A. J., & Floria, P. (2021). Effects of Plyometric vs. Combined Plyometric Training on Vertical Jump Biomechanics in Female Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 77(1), 25-35. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0009>
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training, and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L., & Lockie, R. G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 77-85. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00015>
- Spiteri, T., Newton, R., Hart, N., Binetti, M., Sheppard, J., & Nimphius, S. (2015). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 2205-2214. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000876>
- Sporis, G., Jukic, I., Milanovic, L., & Vucetic, V. (2010). Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 679-686. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c4d324>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(10), 1419-1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Turpela, M., Häkkinen, K., Haff, G. G., & Walker, S. (2017). Effects of different strength training frequencies on maximum strength, body composition and functional capacity in healthy older individuals. *Experimental Gerontology*, 98, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.08.013>
- Upton, D. E. (2011). The effect of assisted and resisted sprint training on acceleration and velocity in Division IA female soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2645-2652. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318201be16>
- Webb, P., & Lander, J. (1983). An economical fitness testing battery for high school and college rugby teams. *Sports Coach*, 44-46.
- Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(2), 74-83. <https://doi.org/10.1123/ijsp.1.2.74>
- Zamparo, P., Bolomini, F., Nardello, F., & Beato, M. (2015). Energetics (and kinematics) of short shuttle runs. *European Journal of Applied Physiology*, 115(9), 1985-1994. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3180-2>
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, V. J. (1995). Science and practice of strength training.

Datos de los autores:

Carlos León Muñoz	carlemu@live.com	Autor/a
Rodrigo Ramírez Campillo	rodrigo.ramirez@unab.cl	Autor/a
Pablo Traver Gil	traverpablo98@gmail.com	Autor/a
Eduardo Sáez de Villarreal Sáez	esaesae@upo.es	Autor/a