



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Efectos y adaptaciones de diferentes modalidades de
entrenamiento resistido sobre el rendimiento en
jugadores de fútbol.

Autor:

D. Jorge Carlos Vivas

Directores:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Dr. D. Jorge Pérez Gómez

Murcia, mayo de 2019



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Efectos y adaptaciones de diferentes modalidades de
entrenamiento resistido sobre el rendimiento en
jugadores de fútbol.

Autor:

D. Jorge Carlos Vivas

Directores:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Dr. D. Jorge Pérez Gómez

Murcia, mayo de 2019



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón y el Dr. D. Jorge Pérez Gómez como Directores de la Tesis Doctoral titulada "*Efectos y adaptaciones de diferentes modalidades de entrenamiento resistido sobre el rendimiento en jugadores de fútbol*" realizada por D. Jorge Carlos Vivas en el Departamento de Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo (CIARD-UCAM), **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Fdo.: Pedro E. Alcaraz Ramón

Fdo.: Jorge Pérez Gómez

Lo que firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 27 de mayo de 2019.

AGRADECIMIENTOS

Después de tanto esfuerzo, dedicación y trabajo; no puedo culminar esta etapa sin agradecer a todos aquellos, que de una forma u otra, han estado a mi lado mostrando su apoyo a lo largo de todo este camino.

A mis padres, Rodrigo y Lourdes, por el amor incondicional que me han dado y siguen dando, por los sacrificios realizados para que yo pueda ir alcanzando mis objetivos y cumpliendo mis sueños y metas, por la educación recibida, por inculcarme unos valores desde pequeño, por enseñarme a luchar por lo que quiero y mostrarme que nada es imposible si uno se empeña en perseguirlo, por estar siempre, tanto en lo bueno como en lo no tan bueno; porque una cosa si está clara y es que ellos me han enseñado, que el vaso siempre está medio lleno y nunca medio vacío.

A mi hermana Marta, por crecer a mi lado, por protegerme, por compartir conmigo alguna que otra riña y miles de momentos de amor e irme abriendo paso entre los pequeños obstáculos y por supuesto, por darme a mi sobrina Catalina, capaz de sacarme siempre una sonrisa y llenarme de energía en cada vuelta a casa o hablando por teléfono, con sólo tres palabras: "Te quiero Titi".

A mi tía Adela, por "amenazarme" con desheredarme si renunciaba a mis sueños y por transmitirme la fuerza, dedicación y amor por una profesión. También al resto de mi familia: abuelos, abuelas, tíos, tías, primos, primas.... por todas esas palabras de reconocimiento y, sobre todo, por creer en mí. Gracias FAMILIA.

A Laura, mi compañera de viaje, por ser la culpable de hacerme creer que debo cuestionar constantemente mis límites y que la mayor meta siempre debe ser superarse a uno mismo, por su amor incondicional, puro y desinteresado, por hacerme crecer como persona, por esos más de 8 años compartiendo éxitos y "fracasos" día tras día, por tener siempre las palabras adecuadas para convertir las nubes en sol radiante. Gracias por estar siempre, esto también es un éxito tuyo.

A mis directores; a Pedro E. Alcaraz por darme la oportunidad de trabajar y aprender con él, por la confianza que ha depositado y sigue depositando en mí, por hacer posible que haya estado estos tres años en Murcia rodeado de los mejores, por sus correcciones a mano con letra de "doctor", por hacerme partícipe

de proyectos que han contribuido a mi desarrollo profesional y por ver más allá y darle siempre el “toque perfecto” a las cosas. A Jorge Pérez, por acompañarme desde el inicio de mi carrera universitaria, primero como profesor y ahora como director, por abrirme las puertas de su despacho desde el momento que decidí iniciar este camino y por motivarme a empezar lo que hoy terminamos. SOIS un ejemplo a seguir, por vuestra dedicación, constancia y pasión por la enseñanza y la investigación. Gracias por ilusionaros conmigo.

A mis compañeros, por recibirme con los brazos abiertos desde que llegué a Murcia aquel 6 de febrero de 2016, por ser los grandes profesionales que son y porque entre todos formamos el MEJOR EQUIPO. A Tomás y Elena, por todas esas horas compartidas, por acogerme desde el primer momento y hacerme sentir como en casa, por aprender juntos y por darme ese empujoncito cuando más lo necesitaba, sin ni siquiera pedirlo. A Cristian y Javi, por los momentos dentro y fuera de laboratorio, por enseñarme todo lo que saben, por compartir tantos momentos de alegría, vacile y risas y, por supuesto, por “cruzar la línea” una y otra vez. A Linda, por su cariño y por poner siempre ese toque dulce con sus caramelos “gluten free”. Y a Laura y Andrés por llegar en el momento justo del camino para dar el último empujón.

A mis amigos, por los grandes momentos vividos, por lo pasado y por lo que está por venir, por tener siempre las palabras adecuadas para cada momento de dudas y por confiar en mí incondicionalmente.

A la Universidad Católica de Murcia, por su apoyo institucional, por concederme el contrato predoctoral que ha hecho posible que esta tesis doctoral sea un hecho y por permitirme crecer profesionalmente y rodeado de los mejores. Y por supuesto, también a la Universidad de Extremadura, en la que inicié mis estudios y en la que se sentaron las bases de lo que hoy es un hecho.

Y, por último, a todas las personas que han colaborado en cada uno de los trabajos que conforman esta tesis doctoral y los atletas y cuerpos técnicos del UCAM Murcia C.F. y el Sevilla F.C. por su predisposición para colaborar en cada una de las investigaciones. Especial mención merecen los equipos juveniles del UCAM Murcia C.F., por recordarme lo bonito que es el deporte; desde hoy, tenéis un aficionado más.

MIL GRACIAS A TODOS DE CORAZÓN

*“Los locos abren los caminos que más tarde recorren
los sabios”*

Carlo Dossi

La presente Tesis Doctoral es un compendio de trabajos constituido por 4 artículos científicos. Tres de los mismos están publicados y el cuarto se encuentra en proceso de revisión. A continuación, se incluyen sus citas:

ARTÍCULO 1

Referencia: Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, & Martínez-Rodríguez A (2018). The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 48: 2143-2165.

ISSN: 0112-1642 **Online ISSN:** 1179-2035 **Factor de Impacto:** 7.583

Categoría: Sport Sciences **Ranking:** 02/83

ARTÍCULO 2

Referencia: Carlos-Vivas J, Freitas TT, Cuesta M, Pérez-Gómez J, De Hoyo M, & Alcaraz PE (2018). New tool to control and monitor weighted vest training load for sprinting and jumping in soccer. *J Strength Cond Res*, Apr 26.

ISSN: 1064-8011 **Online ISSN:** 1533-4287 **Factor de Impacto:** 3.017

Categoría: Sport Sciences **Ranking:** 18/83

ARTÍCULO 3

Referencia: Carlos-Vivas J, Marín-Cascales E, Freitas TT, Pérez-Gómez J, & Alcaraz PE (2018). Force-velocity-power profiling during weighted vest sprinting in soccer. *Int J Sport Physiol Perform*, Nov 14. 1-28.

ISSN: 1555-0265 **Online ISSN:** 1555-0273 **Factor de Impacto:** 3.979

Categoría: Sport Sciences **Ranking:** 08/83

ARTÍCULO 4

Referencia: Carlos-Vivas J, Pérez-Gómez J, Eriksrud O, Freitas TT, Marín-Cascales E, & Alcaraz PE (2018). Does the load direction (vertical vs horizontal) of resisted sprint training affect performance adaptations in soccer? *Int J Sport Physiol Perform*, (Under review).

ISSN: 0905-7188 **Online ISSN:** 1600-0838 **Factor de Impacto:** 3.979

Categoría: Sport Sciences **Ranking:** 08/83

ÍNDICE

ABREVIATURAS UTILIZADAS	17
ÍNDICE DE FIGURAS	19
ÍNDICE DE TABLAS	21
ÍNDICE DE ANEXOS	23
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	25
CAPÍTULO II. HIPÓTESIS	43
2.1. HIPÓTESIS GENERALES	45
2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	45
CAPÍTULO III. OBJETIVOS	49
3.1. OBJETIVOS GENERALES	51
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	51
CAPÍTULO IV. VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS	55
CAPÍTULO V. ESTUDIO Nº 1: EFICACIA DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON ARRASTRE DE TRINEO (RST) PARA EL RENDIMIENTO EN ESPRINT: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METANÁLISIS	63
5.1. INTRODUCCIÓN	65
5.2. MÉTODOS	71
5.2.1. Fuentes de información y recopilación de datos	71
5.2.2. Criterios de inclusión	71
5.2.3. Selección de estudios	72
5.2.4. Extracción y análisis de datos	74
5.2.5. Riesgo de sesgo	74
5.3. RESULTADOS	75
5.3.1. Características de los estudios incluidos	75
5.3.2. Características de las intervenciones	78
5.3.3. Fase de aceleración	80
5.3.4. Fase de máxima velocidad	89

5.3.5. Esprint completo.....	97
5.3.6. Evaluación del posible sesgo	105
5.4. DISCUSIÓN	105
5.4.1. Fase de aceleración.....	105
5.4.2. Fase de máxima velocidad y esprint completo	111
5.5. CONCLUSIONES	112
CAPÍTULO VI. ESTUDIO Nº 2: UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA CONTROLAR Y MONITORIZAR LA CARGA DE ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON CHALECO LASTRADO EN ESPRINT Y SALTO EN FÚTBOL.....	115
6.1. INTRODUCCIÓN	117
6.2. MÉTODOS.....	120
6.2.1. Enfoque experimental del problema	120
6.2.2. Participantes.....	120
6.2.3. Procedimientos	121
6.2.4. Análisis estadístico	122
6.3. RESULTADOS.....	123
6.4. DISCUSIÓN	127
6.5. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	130
CAPÍTULO VII. ESTUDIO Nº 3: EFECTOS DEL INCREMENTO DE LA CARGA CON CHALECO LASTRADO SOBRE VARIABLES ESPACIO-TEMPORALES Y CINÉTICAS DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE ESPRINT EN JUGADORES DE FUTBOL.....	133
7.1. INTRODUCCIÓN	135
7.2. MÉTODOS.....	138
7.2.1. Participantes.....	138
7.2.2. Diseño.....	139
7.2.3. Metodología	140
7.2.4. Análisis estadístico	141
7.3. RESULTADOS.....	142

	15
7.4. DISCUSIÓN	148
7.5. CONCLUSIONES	156
7.6. APLICACIONES PRÁCTICAS	156
CAPÍTULO VIII. ESTUDIO Nº 4: ¿AFECTA LA DIRECCIÓN DE LA CARGA (VERTICAL VERSUS HORIZONTAL) EN EL ENTRENAMIENTO RESISTIDO DE ESPRINT SOBRE LAS ADAPTACIONES DEL RENDIMIENTO EN EL FÚTBOL?	157
8.1. INTRODUCCIÓN	159
8.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	162
8.2.1. Diseño.....	162
8.2.2. Participantes.....	163
8.2.3. Metodología	166
8.2.4. Análisis estadístico	175
8.3. RESULTADOS.....	175
8.4. DISCUSIÓN	176
8.5. APLICACIONES PRÁCTICAS	183
8.6. CONCLUSIONES	184
CAPÍTULO IX. DISCUSIÓN GENERAL.....	185
CAPÍTULO X. CONCLUSIONES.....	205
10.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	207
10.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	207
CAPÍTULO XI. LIMITACIONES	211
CAPÍTULO XII. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	215
CAPÍTULO XIII. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	219
CAPÍTULO XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223
CAPÍTULO XV. ANEXOS.....	241

ABREVIATURAS UTILIZADAS

Las abreviaturas de los convenios de unidades no se incluyen en este listado al existir normas internacionalmente aceptadas sobre su uso. Tampoco se han insertado las abreviaturas de uso universal en estadística, ni las incluidas en el diccionario de la Real Academia Española de la Lengua (RAE).

BM – Peso corporal o *Body mass*.

CI – Intervalo de confianza o *Confidence interval*.

CL – Límite de confianza o *Confidence limit*.

CMJ – Salto vertical con contramovimiento o *Countermovement jump*.

COD – Habilidad de cambio de dirección o *Change-of-direction ability*.

COD_{Speed} – Velocidad en el cambio de dirección o *Change-of-direction speed*.

COD_{Deficit} – Déficit en el cambio de dirección o *Change-of-direction deficit*.

CRS – Entrenamiento resistido de esprint combinando resistencia orientada tanto vertical como horizontalmente o *Combined resisted sprint training*.

CV – Coeficiente de variación o *Coefficient of variation*.

DRF – Tasa de decremento del ratio máximo de aplicación de fuerzas o *Decrease in ratio of forces*.

ES – Tamaño del efecto *d* de Cohen o *Effect size Cohen's d*.

F₀ – Fuerza horizontal máxima teórica o *Maximal theoretical horizontal force*.

F_H – Fuerza horizontal u *Horizontal force*.

F_V – Fuerza vertical o *Vertical force*.

F-V – Relación fuerza-velocidad o *Force-velocity relationship*.

F-V-P – Perfil fuerza-velocidad-potencia o *Force-velocity-power profiling*.

GRF – Fuerza de reacción del suelo o *Ground reaction force*.

H_{max} – Altura máxima de salto vertical o *Maximum jump height*.

HRS – Entrenamiento resistido de esprint con resistencia orientada horizontalmente u *Horizontally-oriented resisted sprint training*.

MBI – Inferencias basadas en la magnitud o *Magnitude-based inferences*.

P – Valor p o P-value.

P_H – Potencia mecánica horizontal u *Horizontal power*.

P_{max} – Potencia mecánica máxima o *Maximum power output*.

R² – Coeficiente de determinación R cuadrado o *R-square determination coefficient*.

RFD – Tasa de producción de fuerza por unidad de tiempo o *Rate of force development*.

RF_{max} – Ratio máximo de aplicación de fuerzas o *Maximum ratio of applied forces*.

RST – Entrenamiento resistido con arrastre de trineo o *Resisted sled training*.

SD – Desviación típica o *Standard deviation*.

SLJ – Salto horizontal o *Standing long jump*.

SMD – Diferencia de medias estandarizada o *Standard mean difference*.

SSC – Ciclo estiramiento-acortamiento o *Stretch-shortening cycle*.

T₀₋₁₀ – Tiempo del esprint en 10 metros o *10-m sprint time*.

T₀₋₃₀ – Tiempo del esprint en 30 metros o *30-m sprint time*.

T₁₀₋₂₀ – Tiempo del esprint desde los 10 a los 20 metros o *10 to 20-m sprint time*.

T₂₀₋₃₀ – Tiempo del esprint desde los 20 a los 30 metros o *20 to 30-m sprint time*.

URS – Entrenamiento de esprint sin carga o *Unresisted sprint training*.

V₀ – Velocidad horizontal máxima teórica o *Maximal theoretical horizontal velocity*.

V_{max} – Velocidad máxima de esprint o *Maximum sprint velocity*.

VRS – Entrenamiento resistido de esprint con resistencia orientada verticalmente o *Vertically-oriented resisted sprint training*.

WVT – Entrenamiento resistido con chaleco lastrado o *Weighted vest resisted training*.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO V. ESTUDIO N° 1

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección	73
Figura 2. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de aceleración	81
Figura 3. SMD en el tiempo de esprint post-intervención entre los atletas entrenados con RST y el grupo control en la fase de aceleración	82
Figura 4. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de aceleración según las diferentes condiciones de carga (análisis de subgrupos)	88
Figura 5. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de máxima velocidad	90
Figura 6. SMD en el tiempo de esprint post-intervención entre los atletas entrenados con RST y el grupo control en la fase de máxima velocidad.....	91
Figura 7. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de máxima velocidad según las diferentes condiciones de carga (análisis de subgrupos)	96
Figura 8. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en el esprint completo.....	98
Figura 9. SMD en el tiempo de esprint post-intervención entre los atletas entrenados con RST y el grupo control en el esprint completo.....	99
Figura 10. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en el esprint completo según las diferentes condiciones de carga (análisis de subgrupos)	104

CAPÍTULO VI. ESTUDIO N° 2

Figura 11. Efecto del aumento de la carga sobre (A) la V_{max} de esprint y (B) la H_{max} de salto con contramovimiento.....	123
Figura 12. Comparación del tamaño del efecto para (A) la V_{max} alcanzada durante la prueba de esprint de 30 m entre las diferentes condiciones de carga utilizadas, (B) la P_{max} desarrollada durante la prueba de esprint de 30 m, (C) la H_{max} alcanzada en el test de salto con contramovimiento y (D) la P_{max} desarrollada durante el test de salto con contramovimiento.....	126

CAPÍTULO VII. ESTUDIO N° 3

Figura 13. Comparación de los tamaños de efectos entre las diferentes cargas en el T_{0-30} , la V_{max} y la V_0 149

Figura 14. Comparación de los tamaños de efectos entre las diferentes cargas en la F_0 y la P_{max} 151

Figura 15. Comparación intra-carga de la curva potencia-tiempo entre jugadores..... 152

Figura 16. Comparación de los tamaños de efectos entre las diferentes cargas en el RF_{max} y la D_{RF} 154

CAPÍTULO VIII. ESTUDIO N° 4

Figura 17. Comparación entre grupos del rendimiento en sprint 178

Figura 18. Comparación entre grupos del rendimiento en cambio de dirección..... 180

Figura 19. Comparación entre grupos del rendimiento en salto horizontal y vertical 182

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO V. ESTUDIO N° 1

Tabla 1. Características principales de los estudios incluidos en el meta-análisis	76
Tabla 2. Características de las intervenciones de entrenamiento resistido con arrastre de trineo y evaluación del tiempo de carrera de los estudios incluidos en el meta-análisis.....	79
Tabla 3. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo de esprint en la fase de aceleración en los estudios incluidos en el meta-análisis.....	84
Tabla 4. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo de esprint en la fase de máxima velocidad en los estudios incluidos en el meta-análisis.....	93
Tabla 5. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo del esprint completo en los estudios incluidos en el meta-análisis	101

CAPÍTULO VI. ESTUDIO N° 2

Tabla 6. Diferencias relativas y resultados cualitativos entre diferentes cargas utilizadas según porcentajes del BM.....	125
Tabla 7. Carga requerida para el WVT de esprint, dependiendo del BM individual.....	131
Tabla 8. Carga requerida para el WVT de salto vertical, dependiendo del BM individual.....	131

CAPÍTULO VII. ESTUDIO N° 3

Tabla 9. Diferencias relativas entre cargas y resultados cualitativos en variables espacio-temporales	143
Tabla 10. Diferencias relativas entre cargas y resultados cualitativos en variables cinéticas	146

CAPÍTULO VIII. ESTUDIO N° 4

Tabla 11. Programa de entrenamiento resistido	165
Tabla 12. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en variables espaciotemporales de esprint.....	168
Tabla 13. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en las variables cinéticas de esprint.....	171
Tabla 14. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en las variables de capacidad de cambio de dirección.....	173
Tabla 15. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en variables de salto horizontal y vertical.....	174

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Artículo nº 1: <i>The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: A systematic review and meta-analysis</i>	243
ANEXO II. Artículo nº 2: <i>New tool to control and monitor weighted vest training load for sprinting and jumping in soccer</i>	267
ANEXO III. Artículo nº 3: <i>Force–velocity–power profiling during weighted vest sprinting in soccer</i>	279
ANEXO IV. Artículo nº 4: <i>Does the load direction (vertical vs horizontal) of resisted sprint training affect performance adaptations in soccer?</i>	291

I – INTRODUCCIÓN

GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El fútbol es uno de los deportes más populares del mundo, siendo practicado en todos los continentes. Cuenta con más de 265 millones de licencias federativas a nivel mundial, sólo en lo que a jugadores se refiere (1) y sin tener en cuenta los más de 5 millones de licencias adicionales relativas a entrenadores, cuerpos técnicos, árbitros, etc.

En cuanto a las características de la competición, el fútbol es un deporte de equipo en el que el rendimiento depende tanto de las habilidades individuales como de la interacción colectiva entre los jugadores. Por ello, las habilidades tácticas y técnicas son consideradas los principales factores que influyen en el resultado final de un partido. Sin embargo, el desarrollo de las capacidades físicas no debe pasarse por alto a la hora de desarrollar jugadores de alto nivel, más aún, sabiendo que se trata de un deporte de carácter intermitente caracterizado por acciones de alta intensidad como esprintar, acelerar y decelerar rápidamente, cambiar de dirección, saltar, girar, golpear, etc (2-4). Por otro lado, el crecimiento experimentado por las ciencias de la actividad física y el deporte en la última década ha hecho que el mundo del fútbol muestre un mayor interés y predisposición al uso de la ciencia, como recurso fundamental para ayudar a mejorar y controlar el rendimiento deportivo de los jugadores. Este hecho, se puede constatar por el incremento del rendimiento observado recientemente. Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que los jugadores profesionales se están volviendo cada vez más rápidos (5, 6), independientemente del sexo y/o la edad (7). Por lo tanto, la mejora de las acciones de alta intensidad como el esprint, el salto vertical o los cambios de dirección (COD) se constituye como una meta importante tanto para entrenadores y preparadores físicos como para los propios deportistas (8-11). Es más, estudios previos en deportes de equipo han demostrado que los jugadores de mayor nivel son más fuertes, más rápidos y más potentes que sus homólogos de nivel inferior (12).

A esto debemos añadirle que, cada vez se trabaja mejor tácticamente y los equipos tienen más claro cómo trabajar tanto ofensiva como defensivamente. Esto se traduce en equipos mejor organizados y mayor dificultad para sorprender; con

lo que los pequeños detalles marcan la diferencia. En este contexto, la capacidad de realizar acciones a alta velocidad se constituye como uno de los factores importantes para tener éxito en el fútbol (5), es decir, que alcanzar una alta velocidad de carrera, saltar muy alto o la rapidez en el COD se constituyen como factores determinantes del éxito en deportes de equipo como el fútbol (13-18), ya que son cualidades inherentes a acciones comunes como marcar un gol, asistir a un compañero o anticipar el comportamiento de los oponentes para reposicionarse en situaciones determinantes del juego con anticipo (15, 17, 19, 20). De hecho, análisis del juego realizados recientemente en fútbol profesional mostraron que el esprint es la acción de alta intensidad más frecuente en situaciones de gol, tanto si centramos la observación en el jugador que anota como en aquel que asiste o aquellos que intervienen activamente en la jugada que finaliza con éxito o a la hora de disputar el balón, seguido por los COD y el salto (20). Por ello, no es de extrañar que la capacidad de mejorar el rendimiento máximo en el esprint se constituya como parte integral de la preparación física para muchos futbolistas (21).

Y es que, el esprint es reconocido como el modo más rápido de locomoción humana sin ayuda externa. Es una acción importante que los seres humanos han empleado desde tiempos prehistóricos, no solo como un factor determinante de supervivencia, sino también como una actividad clave en el desarrollo y el resultado final de la competición en una amplia gama de disciplinas deportivas, tanto individuales como de equipo. Concretamente, la máxima expresión del esprint está representada por la final de los 100 m. lisos de los Juegos Olímpicos, uno de los eventos deportivos más mediáticos y con mayor repercusión social a nivel mundial. Por esta razón, el esprint ha sido quizás la habilidad más estudiada tanto desde un punto de vista biomecánico como fisiológico (22).

En una carrera de 100 m, por ejemplo, como en muchos otros deportes en los que la velocidad es de vital importancia, se distinguen varias fases claramente definidas, que pueden quedar resumidas en dos: fase de aceleración y fase de máxima velocidad. La fase de aceleración se caracteriza por el hecho de que el atleta comienza el esprint desde una posición semiestática e incrementa su velocidad rápidamente en un periodo corto de tiempo; mientras que, en la fase de máxima velocidad, el atleta se desplaza a su máxima velocidad pero sin aceleración. Dicho esto, es de suma importancia enfatizar que, en algunos casos,

estas fases no están relacionadas, ya que se ven afectadas por diferentes factores que afectan el rendimiento; además de que, no todos los deportes incluyen ambas fases (23). Por lo tanto, los protocolos de entrenamiento para desarrollar cada una de estas fases deben ser específicos (18, 23). Por ejemplo, los principales grupos musculares involucrados en la fase de aceleración del esprint son los extensores de tobillo, rodilla y cadera (24). Además, dada la limitación temporal existente a la hora de producir fuerza durante un esprint, la principal manifestación de fuerza es explosiva, definida como el desarrollo de la máxima fuerza en el mínimo tiempo, o *rate of force development* (RFD) (25). La posición de un atleta, con una ligera inclinación del tronco hacia delante, se relaciona con la fuerza de reacción (GRF) neta horizontal, que resulta primordial para acelerar el cuerpo hacia adelante (26), con mayores tiempos de contacto, (26, 27) y mayor ratio de fuerzas (horizontal:vertical GRF), en comparación con la fase de máxima velocidad (26). Por el contrario, los principales grupos musculares implicados en la fase de máxima velocidad son los extensores de cadera y tobillo, que contribuyen a una mayor GRF vertical (10). Weyand y coautores (28, 29) afirmaron que la velocidad máxima (V_{max}) estaba mecánicamente limitada por la GRF vertical máxima, presentando una fuerte relación positiva entre la V_{max} y la GRF vertical promedio aplicada durante la primera mitad de la fase de apoyo (30). Por lo tanto, parece que, junto con la RFD, la fuerza máxima relativa puede jugar un papel fundamental en la fase de máxima velocidad. Cabe señalar que la fase de máxima velocidad incluye una producción asimétrica de fuerzas y que la RFD es muy alta (31) como resultado de un tiempo de contacto con el suelo mucho más corto que el observado durante la fase de aceleración (26, 32, 33). Además, la postura más erguida que los velocistas adoptan durante esta fase probablemente contribuye a la rigidez o *stiffness* requerido para desacelerar la extremidad y el cuerpo relativamente rápido después del momento de impacto del pie sobre el suelo (30), todo esto con el fin de producir la máxima potencia mecánica posible que permita generar una alta velocidad horizontal.

De igual forma, la función neuromuscular también resulta vital para el rendimiento en el esprint, porque la actividad e interacción del sistema nervioso central con los músculos en última instancia influye sobre la RFD muscular, dado que las acciones que incluyen ciclo estiramiento-acortamiento (SSC) son particularmente frecuentes en deportes que realizan esprints (31). Por lo tanto, el

uso eficiente del SSC puede recuperar aproximadamente hasta el 60% de la energía mecánica total, con una mayor contribución de fuentes de energía no metabólicas y, consecuentemente, aumentos en la velocidad de carrera (34, 35).

En el caso concreto del fútbol, análisis previos de partidos de fútbol de élite informaron que la mayoría de los jugadores realizan esprints cortos de 2-4 segundos de duración, alcanzando valores de V_{\max} de aproximadamente 31-32 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (36), cada 60-90 segundos de juego, lo que equivale a un número total de 60-90 esprints durante un partido, pasando entre el 1-11% del tiempo total de juego a alta velocidad (37). Esto resulta en distancias medias de sprint de aproximadamente 10-30 m, siendo la mayoría de esprints inferiores a 20 m (38, 39) y la distancia total cubierta a sprint de entre 200 y 1000 m durante un partido (40-43). Particularmente, estudios relativamente recientes informan que el 96% de los esprints que ocurren durante un partido, se dan en distancias menores de 30 m, siendo el 50% de ellos más cortos de 10 m (14).

Es importante también comprender, que la mayoría de los esprints en el fútbol se inician en movimiento, al contrario de lo que ocurre en otras modalidades deportivas. Concretamente, las investigaciones que analizan las acciones de alta velocidad en fútbol, distinguen dos tipos de sprint: *explosive* (caracterizado por una aceleración rápida) y *leading* (caracterizado por una aceleración gradual) (38, 44-46). Además, la actividad de sprint se ve influenciada por la posición que ocupe cada jugador en el terreno de juego y los esfuerzos que demanda la misma (38, 40, 47). Algunos autores han observado que el número de esprints fue menor en los defensores centrales con respecto a cualquier otra posición (38, 47) y que la mayor distancia media fue recorrida por los defensores laterales (40). Por lo tanto, parece fundamental que los entrenadores y preparadores físicos comprendan el número y tipo de esprints, así como las distancias asociadas a los mismos que se dan en el fútbol para que su propuesta de trabajo permita un correcto desarrollo de la velocidad específica del deporte y cada una de sus fases, ya que, una pequeña diferencia de 0.04 a 0.06 segundos en un sprint de 20 m puede ser suficiente para salir vencedor en una disputa de 1 contra 1, driblar a un oponente o defender un ataque del rival con éxito (48).

Algo similar ocurre con el COD, otra de las habilidades claves en deportes de equipo como el fútbol, tal y como se indicó anteriormente. Y es que, un

jugador de fútbol realiza más de 700 COD durante un partido (49), iniciando la mayoría de ellos a baja velocidad y seguidos de un esprint en línea recta. Concretamente, el COD más frecuente es de 100-120 grados, seguido inmediatamente de un esprint lineal de 5-20m (50). Por lo tanto, la capacidad de COD está parcialmente relacionada con la capacidad de esprint lineal y también requiere de fuerzas propulsivas tanto horizontales como verticales (51). De hecho, en la misma línea que ocurre con el esprint, los atletas que producen mayores fuerzas propulsoras verticales y horizontales tienen un mejor desempeño en las tareas de COD (52). También, se han observado mayores fuerzas de frenado verticales y horizontales en estos atletas (52). Por lo que se ha sugerido que altos niveles de fuerza excéntrica y una alta capacidad elástica, van a permitir que el rendimiento sea mucho mayor en este tipo de acciones. Además, un correcto desarrollo de la fuerza en los miembros inferiores es importante para los jugadores de fútbol, ya que esta capacidad influye en el desarrollo de potencia y en el éxito en las habilidades de alta intensidad (ej. sprint, COD y salto) (37). Por lo tanto, parece que el entrenamiento de potencia y velocidad son cualidades cruciales para la mejora del rendimiento en los jugadores de fútbol.

Específicamente, el éxito en tales acciones se ha relacionado con la capacidad del atleta para maximizar la producción de potencia (53), que está determinada por la relación fuerza-velocidad (F-V). Esta relación dicta que la cantidad de fuerza generada disminuye a medida que aumenta la velocidad de movimiento (54) y que la máxima producción de potencia (P_{max}) se alcanza a niveles de fuerza y velocidad comprometidos (55). Por lo tanto, la P_{max} puede mejorarse aumentando la capacidad para desarrollar altos niveles de fuerza a bajas velocidades y/o mejorando la velocidad de movimiento (56, 57). Teóricamente, el uso de movimientos a alta velocidad con cargas bajas puede afectar al área de velocidad de la curva F-V, mientras que el uso de cargas más pesadas mejora el segmento de fuerza. Un enfoque ampliamente utilizado para desarrollar la producción de potencia es el entrenamiento de *optimal load* o “carga óptima”, que consiste en utilizar la carga que produce la P_{max} en un movimiento específico (56). Se ha sugerido que este entrenamiento es efectivo para mejorar la producción de potencia (56, 57), ya que proporciona un estímulo específico óptimo de carga para aumentar la P_{max} (57) y, por lo tanto, el rendimiento del esprint. Sin embargo, la carga que maximiza la producción de potencia en

movimientos multiarticulares, específicos del deporte, difiere significativamente entre los ejercicios, dependiendo de la naturaleza del movimiento involucrado, las condiciones mecánicas de las diferentes modalidades utilizadas y el momento de la temporada (56). De cualquier forma, un trabajo adecuado, incidiendo en todas las zonas de la curva F-V es necesario para maximizar el rendimiento físico (58).

Para desarrollar estas cualidades, MacDougall y Sale (59) argumentaron que el entrenamiento debe ser específico con respecto al patrón de movimiento, la fuerza aplicada, el tipo de activación muscular y la velocidad de contracción. Teniendo en cuenta todos los factores mencionados anteriormente, es habitual recomendar diferentes clasificaciones en relación a los métodos de entrenamiento, como la basada en la especificidad del método y su similitud con la técnica propia del esprint (60). Por lo tanto, no sorprende que las rutinas de entrenamiento en el fútbol incluyan métodos de entrenamiento que involucren tareas motoras específicas, tales como carreras de velocidad resistidas o ejercicios pliométricos.

De hecho, un estudio reciente mostró que el rendimiento crónico y las adaptaciones biomecánicas están asociados con programas de acondicionamiento orientados tanto vertical como horizontalmente (61). Tal es la importancia de la especificidad del entrenamiento que incluso algunos autores han propuesto clasificaciones en base a la especificidad del mismo con respecto a la acción de esprint. Una de las más utilizadas, es la clasificación propuesta por Plisk (60), que distingue entre: métodos primarios, aquellos que simulan el patrón de movimiento de esprint (ejercicios de técnica de esprint, ejercicios de amplitud y frecuencia de zancada y esprints de diferentes distancias e intensidades); métodos secundarios, aquellos que simulan la acción del esprint pero con una ligera sobrecarga o grado de asistencia adicional (métodos resistidos o asistidos, respectivamente); y métodos terciarios, caracterizados por el desarrollo de esprints no específicos (entrenamiento de fuerza, entrenamiento pliométrico, entrenamiento complejo o *complex training*, entrenamiento de flexibilidad, etc.) (62-64), ya que, permiten incrementar la fuerza y los niveles de potencia de los atletas en sus componentes tanto verticales como horizontales (56), pudiéndose traducir en un mayor rendimiento en los movimientos específicos del deporte (56, 65). También es típico clasificar los métodos de entrenamiento de esprint de acuerdo con la relación fuerza-velocidad (F-V) del acortamiento muscular,

descrita por Hill y coautores (54, 66) hace muchos años. Esta relación F-V, como ya se ha indicado anteriormente, describe una propiedad característica del músculo que dicta sus capacidades para producir potencia (56). Debido a que la potencia mecánica es la expresión tanto de la fuerza como de la velocidad, generalmente se acepta que la mejora del potencial de producción de fuerza y/o velocidad de desplazamiento es efectiva cuando se trata de mejorar el esprint en distancias cortas (67). Con base en el conocimiento científico contemporáneo, es evidente que la fuerza máxima relativa, la RFD y la capacidad máxima de producción de potencia son atributos importantes que deben desarrollarse cuando se implementan programas de fuerza y acondicionamiento (58) para aumentar el rendimiento del esprint durante toda la temporada. Haff y Nimphius (58) sugirieron un enfoque de métodos mixtos en el que se utilizan una amplia variedad de cargas y tipos de ejercicio de forma periódica con el fin de optimizar la producción de potencia. En este contexto, los protocolos de entrenamiento de esprint resistido y asistido juegan un papel esencial (58).

Focalizando la atención sobre los métodos de entrenamiento resistido, ampliamente utilizados en multitud de disciplinas deportivas dada su efectividad para mejorar el rendimiento (11, 68-71), existen diferentes modalidades en función de los diferentes equipos o condiciones que se utilizan para agregar la resistencia externa adicional: arrastre de trineo (RST), chaleco lastrado (WVT), paracaídas, carrera cuesta arriba, carrera sobre superficie de arena y dispositivos electromecánicos (ej. 1080 Sprint™ o dynaSpeed™) (18, 72-74). Todas estas modalidades permiten al atleta replicar el patrón de movimiento del esprint con una sobrecarga adicional, que proporciona una sobrecarga mecánica específica de los movimientos deportivos (68), lo que conlleva adaptaciones positivas como: incrementos en la RFD (69, 75), aumentos en la fuerza muscular (65, 69, 76, 77) y efectos positivos sobre la cinemática de esprint (tiempo de contacto, tiempo de vuelo, amplitud y frecuencia de zancada, etc.), lo que se puede traducir en mejoras en el rendimiento de esprint (69, 78, 79). Según la modalidad de entrenamiento resistido elegida se puede incidir más sobre la habilidad del atleta para generar una mayor fuerza horizontal, vertical, o ambas, dependiendo de la dirección de la aplicación de la carga utilizada en el ejercicio (80). Además, se ha sugerido que este tipo de entrenamiento produce un incremento de la activación

neural (81), un mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (16), y una mejora de la coordinación intermuscular (82, 83).

Pero los beneficios del entrenamiento resistido de esprint no se limitan a la propia habilidad de esprint como tal. Y es que, también puede producir un efecto positivo sobre la capacidad de COD y, por lo tanto, mejorar aún más el rendimiento deportivo. Algunos estudios previos han analizado los efectos de los programas de RST con cargas ligeras (84, 85) y con cargas pesadas (86) en jugadores de fútbol, reportaron mejoras en la capacidad de COD, aunque no superiores a las producidas por el entrenamiento de esprint sin resistencia (URS) (85) u otros programas de entrenamiento, como el entrenamiento de sentadilla o la pliometría (84). No obstante, recientemente, Rodríguez-Osorio y coautores (87) concluyeron que 6 semanas de WVT con COD sin carga adicional, con cargas moderadas (12.5% del BM) y con cargas pesadas (50% del BM) pueden tener efectos positivos en el esprint, el COD y el salto, especialmente con cargas moderadas.

Un aspecto fundamental a considerar a la hora de utilizar el entrenamiento resistido para la mejora del rendimiento, es la aplicación de fuerza. Y es que, el desarrollo de grandes cantidades de fuerzas, en situaciones donde el tiempo disponible para aplicar las mismas es limitado, se constituye como un requisito fundamental para inducir adaptaciones neuromusculares (88) y mejoras funcionales en las tareas atléticas. Sin embargo, los entrenadores y los preparadores físicos deben tener en cuenta que el rendimiento no sólo depende de la cantidad total de fuerza producida, sino también de la capacidad de aplicar tales fuerzas a velocidades específicas y con orientaciones similares a las requeridas por las demandas mecánicas de la tarea (59, 89). En otras palabras, la dirección del vector resultante de las GRFs, en respuesta a la fuerza aplicada por el atleta, tendrá una dirección diferente según el deporte y las condiciones en las que ocurre. En este sentido, una diferencia importante entre las modalidades de entrenamiento resistido de esprint, que puede afectar las adaptaciones, es la orientación de la resistencia aplicada (18). Por lo tanto, dependiendo del ejercicio, el trabajo deberá centrarse más en la aplicación de fuerzas verticales, horizontales o una combinación de ambas. Estudios recientes demostraron que el rendimiento crónico (es decir, el esprint y el salto) y las adaptaciones biomecánicas (es decir, la efectividad de la fuerza aplicada y la rigidez o *stiffness*) pueden asociarse con los

programas de entrenamiento orientados vertical y horizontalmente (61, 90, 91). Esto quiere decir que, la dirección del vector de la GRF resultante, relacionada con la fuerza aplicada por el atleta, diferirá según las condiciones en las que se aplique la fuerza (92). Por lo tanto, los entrenadores deben tener una comprensión clara de los requisitos de la dirección de la aplicación de fuerzas en una tarea determinada. Por ejemplo, estudios previos sobre esprint demostraron que las fuerzas horizontales fueron mayores durante los primeros pasos en la fase de aceleración, mientras que las fuerzas verticales se hicieron más importantes a medida que la velocidad aumentaba (26, 32, 33). Es importante tener en cuenta que estos estudios se realizaron en velocistas y saliendo con cuatro apoyos desde los bloques de salida. Esta situación es totalmente diferente a lo que ocurre en deportes de equipo como el fútbol, donde la carrera se inicia desde una posición más vertical, en movimiento y desde dos apoyos (38, 44-46, 48), lo que dará como resultado una dirección más vertical del vector de la fuerza resultante.

Para una mejor comprensión de la aceleración y la velocidad máxima, importantes para muchos deportes, las GRFs han sido ampliamente estudiadas (26, 29, 32, 33, 93). Recientemente, Colyer y coautores informaron que los velocistas produjeron una mayor potencia horizontal promedio que los jugadores de fútbol durante la fase de aceleración, lo que prolonga su fase de aceleración y, por lo tanto, les permite obtener una V_{max} mayor (93). Es decir, una mayor producción de fuerza anteroposterior u horizontal promedio durante la fase de aceleración, manteniendo un vector de fuerza más horizontal a medida que aumenta la velocidad, es un indicador crucial del rendimiento en el esprint (26). Sin embargo, a medida que incrementa la velocidad de carrera, aumenta también la importancia de la capacidad para ejercer fuerza vertical con contactos cortos en el suelo (26, 32, 33), lo que se constituye como factor limitante en la fase de máxima velocidad (29). Por lo tanto, el entrenamiento con una resistencia vertical podría ser también efectivo para mejorar el rendimiento en fútbol.

Y es que, aunque la capacidad de aceleración resulta de gran importancia (94), también es importante desarrollar la V_{max} , ya que la mayoría de los sprints en el fútbol comienzan en movimiento (37, 48) y con el cuerpo en una posición más erguida (posición de 2 apoyos, más similar a las condiciones de la fase de máxima velocidad del esprint). Además, como ya se ha indicado previamente, es importante resaltar que el desempeño en ambas fases (aceleración y máxima

velocidad) depende de diferentes factores, y que tanto la aceleración como la V_{\max} son cualidades diferentes y específicas (18). Por lo tanto, la combinación de diferentes modalidades de entrenamiento resistido podría ser la solución ideal para el fútbol, dependiendo del objetivo perseguido en cada momento de la temporada. Los entrenadores podrían utilizar el RST (resistencia específica orientada horizontalmente) para desarrollar los atributos de la fase de aceleración temprana y el WVT (resistencia específica orientada verticalmente) para mejorar la V_{\max} . Cronin y coautores sugirieron que el WVT, que proporciona una resistencia orientada verticalmente, puede ser una modalidad más apropiada para el entrenamiento a altas velocidades (74). De hecho, se ha demostrado que la transición de velocidades más bajas a velocidades más altas da lugar a fases de apoyo más cortas con aumentos en la fuerza vertical máxima (90). La capacidad de producir grandes fuerzas verticales durante la fase de máxima velocidad se asocia con mejores rendimientos de velocidad (33). Sin embargo, hasta donde sabemos, ningún estudio ha investigado las adaptaciones de las intervenciones de entrenamiento resistido de esprint utilizando modalidades de resistencia orientadas verticalmente (por ejemplo, chaleco lastrado). Los pocos estudios que han incluido el chaleco lastrado como dispositivo de resistencia adicional, solo han evaluado los efectos sobre la cinemática, utilizando cargas del 7% al 20% del BM (18, 70, 74, 79, 95, 96). No obstante, el WVT sí ha sido más investigado, en relación al salto vertical, mostrando excelentes resultados, en intervenciones con una duración de entre 3 y 10 semanas en atletas entrenados, usando cargas de entre el 7% y el 13% del BM en comparación con el entrenamiento de potencia convencional (95, 97, 98). En resumen, parece que tanto el entrenamiento resistido de esprint orientado verticalmente como horizontalmente, así como la combinación de ambas, pueden mejorar tanto el rendimiento en el esprint como en el COD, cualidades fundamentales para el rendimiento en el fútbol.

El RST, caracterizado por un mayor efecto sobre las fuerzas horizontales (18, 21) ha sido aplicado en el deporte durante décadas, evolucionando desde la tracción de una rueda hasta el uso de los dispositivos electromecánicos que permiten regular la carga para producir la pérdida de velocidad deseada por el atleta (por ejemplo, 1080 Sprint™ o DynaSpeed™). Tradicionalmente, atendiendo al principio de especificidad, los manuales y guías de capacitación más populares (12, 99) han recomendado que se debe mantener la biomecánica del URS cuando

se usa RST. Por lo tanto, las cargas se deben elegir teniendo en cuenta la modalidad deportiva y el estado físico del atleta. Por ejemplo, los velocistas pueden usar cargas que no disminuyan la velocidad de carrera más de un 10-12% respecto a la alcanzada en condiciones descargadas (73, 100, 101). En contraste, los atletas de deportes equipo que vencen la resistencia externa mientras bloquean y luchan pueden usar cargas del 20-30% del BM para mejorar la aceleración temprana (102, 103). Esta hipótesis ha sido ampliamente aceptada, ya que se cree que la producción de potencia mecánica cuando incrementa la carga, se reduce significativamente (104). Esta reducción de la potencia mecánica se asocia con una configuración incorrecta de las palancas corporales del atleta (involucrando diferentes unidades motoras e incluso diferentes grupos musculares), un aumento en el tiempo de contacto y la imposibilidad de un uso adecuado del SSC. Por ello, algunos estudios recientes han intentado dilucidar la carga que maximiza la potencia mecánica en RST, con alguna controversia resultante. Monte y coautores (104) indicaron que la máxima producción de potencia se produce cuando se usa RST con cargas cercanas al 20% del BM, sin inducir cambios significativos en la técnica de carrera de esprint, mientras que Cross y coautores (105) mostraron que la máxima potencia mecánica se alcanza con cargas cercanas al 80% del BM. Sin embargo, este último estudio (105) tiene las limitaciones de no haber medido el efecto de esta magnitud de carga sobre los parámetros cinemáticos, y de medir la potencia horizontal cuando los atletas alcanzaron la V_{max} de esprint, dado que se sabe que la máxima producción de potencia en el esprint se da en los primeros pasos. Además, la fuerza horizontal y la potencia disminuyeron en un 82.0% y 62.5%, respectivamente, desde el primer hasta el último paso durante un esprint de 20 m arrastrando un trineo (104). Curiosamente, ambos estudios han utilizado el método desarrollado por Samozino y coautores (106) para calcular la producción de potencia horizontal, pero en diferentes disciplinas (velocistas *versus* jugadores de fútbol) y en diferentes fases. Estos autores estimaron indirectamente la fuerza anteroposterior (horizontal) durante un esprint a partir de parámetros espacio-temporales y, en consecuencia, calcularon la producción de potencia horizontal durante el esprint. No obstante, el cálculo de la fricción fue diferente en ambos estudios. Cross y coautores (105) calcularon la fricción en base a un modelo experimental previo de ajuste polinómico que relacionaba la fuerza de fricción y la velocidad del trineo (107); mientras que Monte y coautores (104)

estimaron la fricción de forma indirecta lo que pudo dar lugar a imprecisiones sustanciales en la fuerza producida para superar la inercia durante la aceleración y una subestimación de las fuerzas de fricción (108).

Desde un punto de vista cinemático, los estudios transversales se han centrado en estudiar los efectos del RST en diferentes variables, la SL, el CT, el tiempo de vuelo y los ángulos de las articulaciones. Por ejemplo, Alcaraz y coautores (18) mostraron una disminución en la amplitud de zancada y la velocidad de carrera durante el RST con una carga del 16% del BM, pero no observaron cambios significativos en la técnica de carrera (es decir, al analizar los ángulos de las articulaciones). Además, varios estudios (74, 101, 104, 109) indicaron una disminución en el tiempo de vuelo y la SL, y un aumento del tiempo de contacto en función de la carga del trineo.

Desde un punto de vista cinético, Martínez-Valencia y coautores (75) encontraron un incremento agudo significativo de la RFD cuando la carga añadida fue del 15-20% del BM en comparación con el URS. Además, otros autores han concluido que el RST, principalmente con altas cargas (30% del BM), aumenta la producción relativa neta de impulsos horizontales y propulsores en comparación con el URS, al dirigir la producción de fuerza más horizontalmente y permitir mayor tiempo para aplicar fuerza contra el suelo (21), que podría transferirse a una mejor aplicación de la GRF horizontal. Sin embargo, el mismo equipo de investigación comparó los efectos a corto plazo (8 semanas), del uso de RST con cargas bajas (~13% del BM) versus cargas altas (~43% del BM) (103), y no encontraron diferencias significativas entre los grupos, ya sea para mejorar el rendimiento o las GRF horizontales. Por lo tanto, no hay un acuerdo sobre si las cargas altas o bajas son más beneficiosas desde el punto de vista cinético y cinemático, cuando se buscan incrementos en el rendimiento a corto y medio plazo.

En el RST, la resistencia adicional experimentada por el atleta surge principalmente de la fuerza de fricción entre la base del trineo y la superficie de rodadura. Esta fuerza de fricción es aproximadamente proporcional al peso total del trineo, y el entrenador puede manipular la resistencia experimentada por el atleta cambiando el peso colocado sobre el trineo. Cuanto mayor sea el peso adicional añadido, mayor será la fricción y, por lo tanto, más lenta será la aceleración del atleta y menor la V_{max} alcanzada. El coeficiente de fricción entre el

trineo y la superficie de rodadura, está determinado por el tipo y la rugosidad de la superficie de los materiales utilizados en la base del trineo y la propia superficie de rodadura. Por esta razón, el uso de diferentes superficies (pista de hierba *versus* tartán) puede producir diferentes estímulos para la misma carga adicional (11, 110). Otro factor que puede alterar la fricción es la inercia del trineo, que es más alta cuando el trineo se mueve a baja velocidad.

En relación a esto, una reciente revisión sistemática (11), describió con detalle las recomendaciones de entrenamiento en base a la literatura existente. Sin embargo, los autores concluyeron que los beneficios de rendimiento del RST sobre el URS aún deben demostrarse de manera concluyente. Además, las comparaciones entre estudios son limitadas, principalmente debido a la heterogeneidad en el nivel entrenamiento de los atletas y la prescripción de la carga del trineo, lo que se traduce en un amplio número de preguntas sin respuesta clara.

Como ya se ha indicado anteriormente, un aspecto fundamental en el entrenamiento resistido, independientemente de la modalidad utilizada, es cumplir con el principio de especificidad, el cual establece que las adaptaciones son específicas a la naturaleza del estrés de entrenamiento. Y es que, cuando se entrena para deportes de campo como el fútbol, es importante que cualquier ganancia resultante del entrenamiento de fuerza y potencia se traduzca en movimientos específicos de rendimiento (65). Si este principio se sigue al extremo, todo el entrenamiento simplemente imitaría las demandas de la competición (23, 82, 111). Además, en este tipo de entrenamiento el control de la carga es esencial para asegurar la especificidad del mismo (73); ya que, si la sobrecarga es excesiva podrían producirse cambios indeseables en la cinemática del sprint y las adaptaciones podrían no ser específicas y, en el caso de que la carga sea insuficiente, podrían no producirse adaptaciones. Son varios los métodos utilizados para controlar la carga cuando se aplica el entrenamiento resistido: por un lado, en base a una carga absoluta o relativa a la masa corporal del deportista, que se ha utilizado comúnmente, a pesar de que no toma en consideración las capacidades de fuerza del atleta (76, 112); y por otro lado, en base a una reducción de la V_{max} de esprint en condiciones no resistidas; siendo éste último, el método preferido (69, 70, 112). En este último caso, correr al 100% de la V_{max} , sería la máxima intensidad, y correr, por ejemplo, al 80% sería una intensidad menor.

Algunos autores afirman que no se debe perder más del 10% de la máxima velocidad alcanzada, en condiciones no resistidas, para mantener el principio de especificidad en el sprint (100, 101, 113). En este contexto, algunos autores han propuesto ecuaciones para el control de la carga en el RST. Lockie y coautores (101) propusieron la siguiente ecuación: $\%BM = (-1.96 \cdot \%V_{max}) + 188.99$, con el fin de calcular la carga adecuada para el RST en la fase de aceleración en deportistas de distintos deportes de equipo (hockey hierba, rugby, fútbol australiano, fútbol). Posteriormente, y teniendo en cuenta que la fase de máxima velocidad presenta características diferentes a las de la fase de aceleración (23, 78, 81), Alcaraz y coautores (73) desarrollaron una nueva ecuación para la fase de máxima velocidad también para el RST pero en *sprinters*: $\%BM = (-0.8674 \cdot \%V_{max}) + 87.99$. No obstante, y a pesar de las diferencias existentes entre las diferentes modalidades de entrenamiento resistido utilizadas actualmente por los entrenadores y preparadores físicos, no se han desarrollado herramientas similares para otras modalidades como el chaleco lastrado o el paracaídas.

De lo que no cabe duda alguna es de que, tanto los entrenadores como los preparadores físicos, suelen incluir estas técnicas de entrenamiento resistido (RST y WVT) en sus programaciones. Y todo eso, a pesar de que para el RST existen corrientes contrapuestas y que para el WVT, la poca evidencia científica existente, se ha limitado a evaluar los efectos agudos sobre la cinemática (70, 74, 79). Esto implica que la mayor parte del conocimiento aplicado por los profesionales se deriva de sus propias prácticas de entrenamiento más que de un enfoque basado en la evidencia científica.

Debido a la falta de acuerdo en relación a los efectos y adaptaciones que produce el RST sobre el rendimiento y la alta heterogeneidad entre los protocolos de RST, con el uso de diferentes características (frecuencia, duración, volumen, intensidad...) y sobre atletas de diferentes características, resulta fundamental identificar cuáles son las características de ejercicio óptimas para producir las mayores adaptaciones en función de las características del atleta tras la aplicación de intervenciones de entrenamiento RST. Además, dada la escasa evidencia científica acerca de la influencia de otras modalidades de entrenamiento resistido (por ejemplo, el WVT), sobre las habilidades clave para el rendimiento en deportes como el fútbol, se precisan ensayos adicionales que permitan conocer los efectos de modalidades de entrenamiento resistido poco estudiadas como el WVT

y clarificar las contrariedades en relación al RST, con el fin de optimizar los protocolos de entrenamiento y determinar cuáles son las características que debe cumplir el programa de entrenamiento ideal para generar mayores beneficios en jugadores de fútbol, según los objetivos perseguidos en cada momento de la temporada.

II – HIPÓTESIS

CAPÍTULO II. HIPÓTESIS

2.1. HIPÓTESIS GENERALES

- 1) Un análisis adecuado de la literatura científica, en relación al entrenamiento resistido, podrá aportar indicios sobre si este tipo de entrenamiento produce una mejora sobre el rendimiento de esprint en atletas sanos.
- 2) El diseño de una herramienta para el control y la prescripción del WVT de esprint y salto vertical, permitirá seleccionar rápidamente la carga que se debe utilizar y prescribir en el entrenamiento según el objetivo perseguido.
- 3) El análisis de los efectos agudos del incremento de la carga del chaleco lastrado en el WVT sobre las variables espacio-temporales y cinéticas, tanto en el esprint como en el salto vertical, permitirá determinar el rango de carga más apropiado para conseguir las adaptaciones deseadas cuando se aplique este método de entrenamiento.
- 4) La aplicación de RST o WVT, así como la combinación de ambos, producirá una mejora del rendimiento en el esprint, la habilidad para el COD y la capacidad de salto.

2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Estudio 1: *Eficacia del entrenamiento resistido con arrastre de trineo (RST) para el rendimiento en esprint: Revisión sistemática y meta-análisis.*

- 1) El RST mejorará el rendimiento en el esprint, siendo mayor el efecto sobre la fase de aceleración del esprint, y con un rendimiento mayor que el conseguido mediante el URS.
- 2) La carga adecuada, para conseguir un mayor rendimiento, que se debe aplicar en el RST deberá ser inferior al 20% del propio peso corporal del atleta, y diferirá dependiendo de la fase del esprint sobre la que se quiera incidir.

- 3) El efecto del RST será diferente según la edad, el sexo y el estado de entrenamiento de los atletas.
- 4) La aplicación de RST dos o más veces por semana, con cargas inferiores al 20% del BM, y durante al menos 6 semanas, tendrá un mayor efecto sobre el rendimiento de esprint.

Estudio 2: *Una nueva herramienta para controlar y monitorizar la carga de entrenamiento resistido con chaleco lastrado de esprint y salto en fútbol.*

- 1) Las dos ecuaciones de regresión desarrolladas, mostrarán una relación inversamente proporcional entre la carga del WVT y los indicadores de rendimiento, tanto del esprint (es decir, la V_{\max}) como del salto vertical (es decir, la H_{\max}), en jugadores de fútbol semiprofesionales.
- 2) El aumento de la carga en el WVT producirá un incremento en el T_{0-30} y una disminución de la V_{\max} de esprint, la H_{\max} del salto vertical y la P_{\max} , tanto del esprint como del salto vertical, en jugadores de fútbol semiprofesionales.
- 3) La carga que maximizará la producción de potencia, en jugadores de fútbol semiprofesionales, será cercana al 0% del propio peso corporal del atleta, tanto para el esprint como para el salto vertical.

Estudio 3: *Perfil fuerza-velocidad-potencia durante el esprint con chaleco lastrado en fútbol.*

- 1) El incremento de la carga en el WVT causará un incremento de la F_0 y un descenso de la P_{\max} , el RF_{\max} y la D_{RF} del esprint, en jugadores de fútbol semiprofesionales.
- 2) La carga que maximizará la producción de potencia será cercana al 0% del propio peso corporal del jugador.

Estudio 4: *¿Afecta la dirección de la carga (vertical vs horizontal) en el entrenamiento resistido de esprint sobre las adaptaciones del rendimiento en el fútbol?*

- 1) Las modalidades de entrenamiento resistido orientadas vertical y horizontalmente, así como la combinación de ambas, experimentarán mejoras en el rendimiento del esprint, el COD y la capacidad de salto horizontal y vertical tras 8 semanas de entrenamiento, en jugadores de fútbol juvenil.
- 2) El efecto sobre el rendimiento será mayor en las modalidades de entrenamiento orientadas horizontalmente para la fase de aceleración del esprint y el salto horizontal y en las modalidades orientadas verticalmente para la fase de máxima velocidad del esprint, el COD y el salto vertical, en jugadores de fútbol juvenil. Además, el efecto será mayor en comparación con el URS.

III – OBJETIVOS

CAPÍTULO III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS GENERALES

- 1) Revisar el estado de la literatura en relación a los estudios de intervención, que han analizado los efectos del entrenamiento resistido sobre el rendimiento de esprint en atletas sanos.
- 2) Diseñar una herramienta para el control y la prescripción del WVT de esprint y salto vertical, con base en la pérdida de velocidad y altura en condiciones descargadas, respectivamente; en jugadores de fútbol.
- 3) Describir los efectos agudos del incremento de la carga del chaleco lastrado en el WVT sobre las variables espacio-temporales y cinéticas, tanto en el esprint como en el salto vertical; y determinar el rango de carga más apropiado para conseguir las adaptaciones deseadas cuando se aplique este método de entrenamiento en jugadores de fútbol.
- 4) Comparar los efectos del uso de diferentes modalidades de entrenamiento resistido, y la combinación de ellas sobre el rendimiento en el esprint, la habilidad para cambiar de dirección y el salto.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudio 1: *Eficacia del entrenamiento resistido con arrastre de trineo (RST) para el rendimiento en esprint: Revisión sistemática y meta-análisis.*

- 1) Determinar si el entrenamiento resistido mejora el rendimiento en el esprint, y si el efecto es mayor según las diferentes fases del esprint y que al utilizar URS.
- 2) Clarificar cuál es la carga adecuada que se debe aplicar cuando se utiliza entrenamiento resistido para obtener mayores adaptaciones en el esprint, y si ésta debe ser diferente según la fase del esprint sobre la que se quiera incidir.

- 3) Determinar si el efecto del entrenamiento resistido sobre el rendimiento de los atletas será diferente según la edad, el sexo y el estado de entrenamiento de estos.
- 4) Establecer cuáles son las características del entrenamiento óptimas (volumen, intensidad, frecuencia, duración, superficie...), para que la aplicación de RST tenga un mayor efecto sobre el rendimiento del atleta. La aplicación de RST dos o más veces por semana, con cargas inferiores al 20% del BM, y durante al menos 6 semanas, tendrá un mayor efecto sobre el rendimiento de esprint.

Estudio 2: *Una nueva herramienta para controlar y monitorizar la carga de entrenamiento resistido con chaleco lastrado de esprint y salto en fútbol.*

- 1) Desarrollar dos ecuaciones de regresión que describan con precisión la relación entre la carga del chaleco lastrado y los indicadores de rendimiento en el esprint (es decir, la V_{\max}), y el salto vertical (es decir, la H_{\max}) y que permitan controlar y prescribir el WVT de esprint y salto, en jugadores de fútbol.
- 2) Describir cómo afecta el incremento de la carga en el WVT sobre el T_{0-30} y la V_{\max} de esprint, la H_{\max} del salto vertical y la P_{\max} , tanto del esprint como del salto vertical, en jugadores de fútbol.
- 3) Determinar cuál es la carga que maximizará la producción de potencia, en jugadores de fútbol, tanto para el esprint como para el salto vertical.

Estudio 3: *Perfil fuerza-velocidad-potencia durante el esprint con chaleco lastrado en fútbol.*

- 1) Describir la relación carga-velocidad durante el WVT de esprint en jugadores de fútbol, e investigar los efectos del incremento de la carga sobre la F_0 , la P_{\max} , el RF_{\max} y la DRF en el esprint, en jugadores de fútbol semiprofesionales.
- 2) Clarificar cuál es la carga que maximiza la producción de potencia mecánica durante el WVT de esprint.

Estudio 4: *¿Afecta la dirección de la carga (vertical vs horizontal) en el entrenamiento resistido de esprint sobre las adaptaciones del rendimiento en el fútbol?*

- 1) Analizar y comparar los efectos de diferentes modalidades de entrenamiento resistido orientadas vertical y horizontalmente; así como la combinación de ambas, sobre el rendimiento del esprint, el COD y la capacidad de salto horizontal y vertical tras 8 semanas de entrenamiento, en jugadores de fútbol.
- 2) Determinar si el efecto sobre el rendimiento del esprint, el COD y la capacidad de salto horizontal y vertical será mayor según la modalidad de entrenamiento resistido utilizada y en comparación con el URS.

IV – VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS

CAPÍTULO IV. VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS

ESTUDIO N° 1: EFICACIA DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON ARRASTRE DE TRINEO (RST) PARA EL RENDIMIENTO EN ESPRINT: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS

STUDY N° 1: *THE EFFECTIVENESS OF RESISTED SLED TRAINING (RST) FOR SPRINT PERFORMANCE: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS*

Antecedentes: El desarrollo de la habilidad de esprint resulta clave en el resultado final de la competición en una gran variedad de disciplinas deportivas, tanto individuales como de equipo. El entrenamiento resistido con arrastre de trineo (RST) es un método de entrenamiento resistido que puede resultar efectivo para mejorar la velocidad, tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad. Sin embargo, existen importantes discrepancias en la literatura con respecto a la influencia del estado de entrenamiento del atleta, y la prescripción de la carga adicional del trineo, en relación con los componentes específicos del rendimiento del esprint que se desarrollarán y la fase del esprint que se pretende mejorar.

Objetivos: Los objetivos principales de este estudio fueron revisar el estado actual de la literatura, en relación a los estudios de intervención que han analizado los efectos del RST sobre el rendimiento en el esprint, tanto en la fase de aceleración como de máxima velocidad en atletas sanos y; establecer qué magnitudes de carga adicional producen mayores mejoras en el rendimiento del esprint.

Métodos: Se realizó una búsqueda bibliográfica en PubMed, SPORTDiscus y Web of Science incluyendo todos los artículos publicados hasta el 9 de enero de 2018 inclusive. Se incluyeron aquellos estudios revisados por pares que cumplían con todos y cada uno de los siguientes criterios de elegibilidad: (1) publicado en una revista científica; (2) estudio experimental original y longitudinal; (3) participantes, al menos recreativamente activos, que remolcaron o tiraron de un trineo mientras corrían a la máxima intensidad; (4) RST fue uno de los principales métodos de entrenamiento utilizados; (5) se identificaban la carga del trineo, la distancia recorrida y el tiempo y/o velocidad del esprint, tanto para los resultados

previos como posteriores al entrenamiento; (6) el rendimiento del esprint se midió utilizando células fotoeléctricas, radar o cronómetro; (7) publicado en lengua inglesa; y (8) puntuación superior a 6 puntos en la escala PEDro de evaluación de calidad de los artículos.

Resultados: Se encontraron un total de 2376 artículos. Tras los procedimientos de filtrado, solo se incluyeron 13 estudios en este meta-análisis. En los estudios incluidos, se analizaron un total de 32 grupos de RST y 15 grupos control para determinar el tiempo de esprint en las diferentes fases y en el esprint completo. Se encontraron mejoras significativas pre-post entrenamiento en el rendimiento del esprint durante la fase de aceleración (tamaño del efecto [ES]: 0.61; $p = 0.0001$; diferencia de medias estandarizada [SMD]: 0,57; intervalo de confianza (95%) [CI]: 0.85 a 0.28) y esprint completo (ES: 0.36; $p = 0.009$; SMD: 0.38; CI (95%): 0.67 a -0.10). Sin embargo, no se observaron mejoras significativas pre-post entrenamiento en el tiempo durante la fase de máxima velocidad (ES: 0.27; $p = 0.25$; SMD: 0.18; CI (95%): 0.49 a 0.13). Además, los estudios que incluyeron grupo control, no encontraron una mejora significativa del grupo de RST en comparación con el grupo control, independientemente de la fase del esprint analizada.

Conclusiones: El RST es un método eficaz para mejorar el rendimiento del esprint, concretamente en la fase de aceleración temprana. Sin embargo, no se puede afirmar que este método sea más efectivo que el mismo entrenamiento sin sobrecarga. El efecto de RST es mayor en hombres entrenados o recreacionalmente activos que practican deportes de equipo, como el fútbol o el rugby. Además, la intensidad de la carga no es un factor determinante para la mejora del rendimiento del esprint, mientras que el volumen de entrenamiento recomendado debe ser superior a 160 m por sesión y, aproximadamente de 2680 m de volumen de entrenamiento total, con una frecuencia de entrenamiento de dos a tres veces por semana, durante al menos 6 semanas. Finalmente, las superficies rígidas parecen mejorar el efecto de RST en el rendimiento del esprint.

ESTUDIO N° 2: UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA CONTROLAR Y MONITORIZAR LA CARGA DE ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON CHALECO LASTRADO DE ESPRINT Y SALTO EN FÚTBOL

STUDY N° 2: NEW TOOL TO CONTROL AND MONITOR WEIGHTED VEST TRAINING LOAD FOR SPRINTING AND JUMPING IN SOCCER

El propósito de este estudio fue desarrollar dos ecuaciones de regresión que describieran con precisión la relación entre las cargas de chalecos lastrados, y los indicadores de rendimiento en el esprint (es decir, la velocidad máxima, $[V_{\max}]$) y en el salto (es decir, la altura máxima $[H_{\max}]$). Además, este estudio tuvo como objetivo investigar los efectos del incremento de la carga sobre las variables espacio-temporales y la producción de potencia en jugadores de fútbol; así como determinar la “carga óptima” tanto para el esprint como para el salto. Veinticinco jugadores de fútbol semiprofesionales realizaron la prueba de esprint, mientras que un total de 46 completaron la prueba de salto vertical. Se desarrollaron dos ecuaciones de regresión diferentes para calcular la carga en cada ejercicio. Se obtuvieron las siguientes ecuaciones: % de peso corporal (BM) = $22.0762 \cdot \%V_{\max} + 207.99$ para el esprint y; $\%BM = 20.7156 \cdot \%H_{\max} + 71.588$ para el salto vertical. Tanto en el esprint como en el salto, cuando la carga incrementó, la V_{\max} y la H_{\max} disminuyó. La “carga óptima” para el entrenamiento resistido con chaleco lastrado (WVT) no fue clara en el caso del esprint y se situó cerca del BM para el salto vertical. Este estudio presenta una nueva herramienta para individualizar la carga adicional para el entrenamiento resistido de esprint y salto con chaleco lastrado en jugadores de fútbol y para desarrollar todo el espectro de la curva fuerza-velocidad en función de los objetivos de entrenamiento en los diferentes períodos de la temporada.

ESTUDIO N° 3: PERFIL FUERZA-VELOCIDAD-POTENCIA DURANTE EL ESPRINT CON CHALECO LASTRADO EN FÚTBOL

STUDY N° 3: FORCE-VELOCITY-POWER PROFILING DURING WEIGHTED VEST SPRINTING IN SOCCER

Objetivos: Describir la relación carga-velocidad y los efectos del aumento de la carga sobre las variables espacio-temporales y cinéticas del esprint, utilizando chaleco lastrado en jugadores de fútbol; así como, determinar la carga que maximiza la producción de potencia.

Métodos: Un total de 23 jugadores de fútbol (edad: 20.8 ± 1.5 años) realizaron 10 esprints máximos de 30 m equipados con un chaleco lastrado, con 5 cargas diferentes (0%, 10%, 20%, 30% y 40% del peso corporal [BM]). La velocidad y el tiempo de esprint se midieron usando un radar y fotocélulas inalámbricas, respectivamente. Las variables mecánicas se calcularon utilizando un método de campo válido y fiable desarrollado recientemente, que estima las fuerzas de reacción del suelo netas en cada apoyo durante el esprint a partir de datos antropométricos y espacio-temporales. Los datos crudos de velocidad y tiempo se ajustaron mediante una función exponencial y se utilizaron para calcular las GRF horizontales netas y la potencia. Luego se extrapolaron las relaciones individuales de fuerza-velocidad para calcular la fuerza horizontal teórica máxima (F_0) y la velocidad teórica máxima (V_0), así como el ratio de aplicación de fuerza (proporción de la producción de fuerza total que se dirige hacia adelante al inicio del esprint).

Resultados: Las inferencias basadas en la magnitud mostraron una disminución casi segura en F_0 (ES = 0.78–3.35), en la producción máxima de potencia (ES = 0.78–3.81) y en el ratio de fuerza máximo (ES = 0.82–3.87) a medida que aumentaba la carga. Los mayores cambios ocurrieron con cargas superiores al 20% del BM, especialmente en el ratio máximo de aplicación de fuerza (RF_{max}). Además, la potencia máxima se alcanzó en condiciones descargadas.

Conclusiones: El incremento de la carga durante el esprint con chaleco lastrado afecta a las variables espacio-temporales y cinéticas. El mayor cambio en el RF_{max} ocurrió con cargas superiores al 20% del BM. Por lo tanto, los autores recomiendan el uso de cargas no superiores al 20% del BM para el entrenamiento de esprint con chaleco lastrado.

ESTUDIO N° 4: ¿AFECTA LA DIRECCIÓN DE LA CARGA (VERTICAL VS HORIZONTAL) EN EL ENTRENAMIENTO RESISTIDO DE ESPRINT SOBRE LAS ADAPTACIONES DEL RENDIMIENTO EN EL FÚTBOL?

STUDY N° 4: DOES THE LOAD DIRECTION (VERTICAL VS HORIZONTAL) OF RESISTED SPRINT TRAINING AFFECT PERFORMANCE ADAPTATIONS IN SOCCER?

El propósito principal de este estudio fue analizar y comparar los efectos de cuatro modalidades diferentes de entrenamiento resistido de esprint sobre el rendimiento en jugadores de fútbol juvenil después de 8 semanas de entrenamiento. Un total de cuarenta y ocho jugadores de fútbol juvenil (18.3 ± 2.1 años) completaron las 8 semanas de RST, tras ser asignados aleatoriamente a 4 grupos: entrenamiento resistido de esprint con resistencia horizontal (HRS), entrenamiento resistido de esprint con resistencia vertical (VRS), entrenamiento resistido de esprint combinando resistencia horizontal y vertical (CRS) y entrenamiento de esprint sin carga (URS). Se evaluó el rendimiento en el salto horizontal y vertical, el esprint y la capacidad de cambio de dirección (COD) una semana antes y una semana después de la intervención de entrenamiento. Se realizó un análisis de inferencias basadas en la magnitud (MBI) para calcular las diferencias pre-post intra-grupo. Además, se realizó una prueba ANCOVA para la comparación entre grupos, utilizando los valores del pre-test como covariable. Posteriormente, se transformaron los valores p obtenidos en el ANCOVA y la estadística de efecto a MBI. Los resultados intra-grupo mostraron que todas las modalidades de entrenamiento resistido experimentaron mejoras en el rendimiento de esprint (*small a moderate*) y el COD (*small a large*). Además, todos los grupos, excepto URS, mejoraron el rendimiento del salto horizontal. Sin embargo, solo VRS mejoró en salto vertical. Los resultados de comparación entre grupos revelaron que solo VRS mejoró el tiempo de esprint en comparación con HRS (*moderate*) y el COD en comparación con todos los grupos (*moderate a large*). Además, VRS mejoró el rendimiento del salto con contramovimiento (CMJ) (*small a large*) en comparación con los demás grupos. Independientemente de la orientación de la resistencia aplicada, RST es un método de entrenamiento efectivo para mejorar el rendimiento de esprint y COD. Sin embargo, VRS puede promover mayores mejoras en la capacidad de esprint y COD, y tener un efecto positivo adicional en la capacidad de CMJ y la reducción del déficit de COD.

V – ESTUDIO N° 1

CAPÍTULO V. ESTUDIO N° 1

EFICACIA DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON ARRASTRE DE TRINEO (RST) PARA EL RENDIMIENTO EN ESPRINT: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METANÁLISIS

5.1. INTRODUCCIÓN

El esprint es reconocido como el modo más rápido de locomoción humana sin ayuda externa. Es una acción importante que los seres humanos han empleado desde tiempos prehistóricos, no solo como un factor determinante de supervivencia, sino también como una actividad clave en el desarrollo y el resultado final de la competición en una amplia gama de disciplinas deportivas, tanto individuales (atletismo...) como de equipo (fútbol, rugby, fútbol americano, baloncesto, fútbol sala, hockey hierba...). El esprint lineal es la acción más frecuente en situaciones de gol en el fútbol profesional (20). Además, los jugadores profesionales de fútbol, para quienes el esprint resulta clave, se han vuelto más rápidos con el tiempo (5, 114), independientemente del sexo y/o la edad (7). Sin embargo, la máxima expresión del esprint queda representada por la final de los 100 m. lisos de los Juegos Olímpicos, uno de los eventos deportivos más mediáticos y con mayor repercusión social a nivel mundial. Por esta razón, el esprint ha sido ampliamente estudiado desde un punto de vista tanto biomecánico como fisiológico (22).

En una carrera de 100 m, por ejemplo, como en muchos otros deportes en los que la velocidad es de vital importancia, se distinguen varias fases claramente definidas, que pueden quedar resumidas en dos: fase de aceleración y fase de máxima velocidad. La fase de aceleración se caracteriza por el hecho de que el atleta comienza el esprint desde una posición semiestática e incrementa su velocidad rápidamente en un periodo corto de tiempo; mientras que, en la fase de máxima velocidad, el atleta se desplaza a una alta velocidad que se mantiene sin aceleración aparente. Dicho esto, es de suma importancia enfatizar que, en algunos casos, estas fases no están relacionadas, ya que se ven afectadas por diferentes factores que afectan al rendimiento; además de que, no todos los

deportes incluyen ambas fases (23). Por lo tanto, los protocolos de entrenamiento para desarrollar cada una de estas fases también deben diferir. Por ejemplo, los principales grupos musculares involucrados en la fase de aceleración del esprint son los extensores de tobillo, rodilla y cadera (24). Además, dada la limitación temporal existente a la hora de producir fuerza durante un esprint, la principal manifestación de fuerza es explosiva, definida como el desarrollo de la máxima fuerza en el mínimo tiempo, o *rate of force development* (RFD) (25). La posición de un atleta, con una ligera inclinación del tronco hacia delante, se relaciona con la fuerza de reacción (GRF) neta horizontal, que resulta primordial para acelerar el cuerpo hacia adelante (26), con mayores tiempos de contacto (26, 27) y mayor ratio de fuerzas (horizontal:vertical GRF), en comparación con la fase de máxima velocidad (26). Por el contrario, los principales grupos musculares implicados en la fase de máxima velocidad son los extensores de cadera y tobillo, que contribuyen a una mayor GRF vertical (10). Weyand y coautores (28, 29) afirmaron que la velocidad máxima (V_{max}) estaba mecánicamente limitada por la GRF vertical máxima, presentando una fuerte relación positiva entre la V_{max} y la GRF vertical promedio aplicada durante la primera mitad de la fase de apoyo (30). Por lo tanto, parece que, junto con la RFD, la fuerza máxima relativa puede jugar un papel fundamental en la fase de máxima velocidad. Cabe señalar que la fase de máxima velocidad incluye una producción asimétrica de fuerzas y que la RFD es muy alta (31) como resultado de un tiempo de contacto con el suelo mucho más corto que el observado durante la fase de aceleración (26, 32, 33). Además, la postura más erguida que los velocistas adoptan durante esta fase probablemente contribuye a la rigidez o *stiffness* requerido para desacelerar la extremidad y el cuerpo relativamente rápido después del momento de impacto del pie sobre el suelo (30), todo esto con el fin de producir la máxima potencia mecánica posible que permita generar una alta velocidad horizontal. De igual forma, la función neuromuscular también resulta vital para el rendimiento en el esprint, porque la actividad e interacción del sistema nervioso central con los músculos en última instancia influye sobre la RFD muscular, dado que las acciones que incluyen ciclo estiramiento-acortamiento (SSC) son particularmente frecuentes en deportes que presentan esprints (31). Por lo tanto, el uso eficiente del SSC puede recuperar aproximadamente hasta el 60% de la energía mecánica

total, con una mayor contribución de fuentes de energía no metabólicas y, consecuentemente, aumentos en la velocidad de carrera (34, 35).

Para el entrenamiento de esprint, dados todos los factores mencionados anteriormente, es habitual recomendar diferentes clasificaciones de métodos de entrenamiento, como la basada en la especificidad del método y su similitud con la técnica propia del esprint (60). MacDougall y Sale (59) sugirieron que el entrenamiento debería ser específico en relación al patrón de movimiento, la velocidad de contracción, el tipo de activación muscular y la fuerza aplicada. De hecho, un estudio reciente mostró que el rendimiento crónico y las adaptaciones biomecánicas, están asociados con programas de acondicionamiento orientados tanto vertical como horizontalmente (61). Plisk (60) distinguió entre: métodos primarios, aquellos que simulan el patrón de movimiento de esprint (ejercicios técnica de esprint, ejercicios de amplitud y frecuencia de zancada y esprints de diferentes distancias e intensidades); métodos secundarios, aquellos que simulan la acción del esprint pero con una ligera sobrecarga o grado de asistencia adicional (métodos resistidos o asistidos, respectivamente); y métodos terciarios, caracterizados por el desarrollo de esprints no específicos (entrenamiento de fuerza, entrenamiento pliométrico, entrenamiento complejo o *complex training*, entrenamiento de flexibilidad, etc.) (62-64). También es típico clasificar los métodos de entrenamiento de esprint de acuerdo con la relación fuerza-velocidad (F-V) del acortamiento muscular, descrita por Hill y coautores (54, 66) hace muchos años. La relación F-V describe una propiedad característica del músculo que dicta sus capacidades de producción de potencia (56). Debido a que la potencia mecánica es la expresión tanto de la fuerza como de la velocidad, generalmente se acepta que la mejora del potencial de producción de fuerza y/o velocidad de desplazamiento es efectiva cuando se trata de mejorar el esprint en distancias cortas (67). Con base en el conocimiento científico contemporáneo, es evidente que la fuerza máxima relativa, la RFD y la capacidad máxima de producción de potencia, son atributos importantes que deben desarrollarse cuando se implementan programas de fuerza y acondicionamiento (58) para aumentar el rendimiento del esprint durante toda la temporada. Haff y Nimphius (58) sugirieron un enfoque de métodos mixtos, en el que se utilizan una amplia variedad de cargas y tipos de ejercicio de forma periódica con el fin de optimizar

la producción de potencia. En este contexto, los protocolos de entrenamiento de esprint resistido y asistido juegan un papel esencial (58).

Uno de los métodos secundarios más tradicionales para mejorar el rendimiento de esprint es el RST, principalmente debido a su mayor efecto sobre las fuerzas horizontales (18, 21) en comparación con los métodos terciarios, que tienen una orientación más vertical de las fuerzas de resistencia (67). El RST ha sido aplicado en el deporte durante décadas, evolucionando desde la tracción de una rueda hasta los dispositivos electromecánicos actuales que permiten regular la carga para producir la pérdida de velocidad deseada por el atleta (por ejemplo, 1080 Motion™). Tradicionalmente, y principalmente siguiendo el principio de especificidad, los manuales y guías de capacitación más populares (12, 99) han recomendado que se debe mantener la biomecánica del esprint sin resistencia (URS) cuando se usa RST. Por lo tanto, las cargas se deben elegir teniendo en cuenta la modalidad deportiva y el estado físico del atleta. Por ejemplo, los velocistas pueden usar cargas que no disminuyan la velocidad de carrera más de un 10-12% respecto a la alcanzada en condiciones descargadas (73, 100, 101). En contraste, los atletas de deportes de campo que vencen la resistencia externa mientras bloquean y luchan pueden usar cargas del 20-30% del BM para mejorar la aceleración temprana (102, 103). Esta hipótesis ha sido ampliamente aceptada, ya que se cree que la producción de potencia mecánica cuando incrementa la carga, se reduce significativamente (104). Esta reducción de la potencia mecánica se asocia con una configuración incorrecta de las palancas corporales del atleta (involucrando diferentes unidades motoras e incluso diferentes grupos musculares), un aumento en el tiempo de contacto y la imposibilidad de un uso adecuado del SSC. Por ello, algunos estudios recientes han intentado dilucidar la carga que maximiza la potencia mecánica en RST, con alguna controversia resultante. Monte y coautores (104) indicaron que la máxima producción de potencia se produce cuando se usa RST con cargas cercanas al 20% del BM, sin inducir cambios significativos en la técnica de carrera de esprint, mientras que Cross y coautores (105) afirmaron que la máxima potencia mecánica se alcanza con cargas cercanas al 80% del BM. Sin embargo, este último estudio (105) tiene las limitaciones de no haber medido el efecto de esta magnitud de carga sobre los parámetros cinemáticos y de medir la potencia horizontal cuando los atletas alcanzaron la V_{max} de esprint, dado que se sabe que la máxima producción de

potencia en el esprint se da en los primeros pasos. Además, la fuerza horizontal y la potencia disminuyeron en un 82.0% y 62.5%, respectivamente, desde el primer hasta el último paso durante un esprint de 20 m arrastrando un trineo (104). Curiosamente, ambos estudios han utilizado el método desarrollado por Samozino y coautores (106) para calcular la producción de potencia horizontal, pero en diferentes disciplinas (velocistas *versus* jugadores de fútbol) y en diferentes fases. Estos autores estimaron indirectamente la fuerza anteroposterior (horizontal) durante un esprint a partir de parámetros espacio-temporales y, en consecuencia, calcularon la producción de potencia horizontal durante el esprint.

Por un lado, desde un punto de vista cinemático, los estudios transversales se han centrado en estudiar los efectos del RST en diferentes variables, como la amplitud de zancada, el tiempo de contacto, el tiempo de vuelo y los ángulos de las articulaciones. Por ejemplo, Alcaraz y coautores (18) mostraron una disminución en la amplitud de zancada y la velocidad de carrera durante el RST con una carga del 16% del BM, pero no observaron cambios significativos en la técnica de carrera (es decir, al analizar los ángulos de las articulaciones). Además, varios estudios (74, 101, 104, 109) mostraron una disminución en el tiempo de vuelo y la amplitud de zancada, y un aumento del tiempo de contacto en función de la carga del trineo.

Por otro lado, desde un punto de vista cinético, Martínez-Valencia y coautores (75) encontraron un incremento agudo significativo de la RFD cuando la carga añadida fue del 15-20% del BM en comparación con el URS. Además, otros autores han concluido que el RST, principalmente con altas cargas (30% del BM), aumenta la producción relativa neta de impulsos horizontales y propulsores en comparación con el URS al dirigir la producción de fuerza más horizontalmente y permitir mayor tiempo para aplicar fuerza contra el suelo (21), que podría transferirse a una mejor aplicación de la GRF horizontal. Sin embargo, el mismo equipo de investigación comparó los efectos a corto plazo (8 semanas) del uso de RST con cargas bajas (~13% del BM) versus cargas altas (~43% del BM) (103), y no encontraron diferencias significativas entre los grupos, ya sea para mejorar el rendimiento o las GRF horizontales. Por lo tanto, no hay un acuerdo sobre si las cargas altas o bajas son más beneficiosas desde el punto de vista cinético y cinemático cuando se buscan incrementos en el rendimiento a corto y medio plazo.

En el RST, la resistencia adicional experimentada por el atleta surge principalmente de la fuerza de fricción entre la base del trineo y la superficie de rodadura. Esta fuerza de fricción es aproximadamente proporcional al peso total del trineo, y el entrenador puede manipular la resistencia experimentada por el atleta cambiando el peso colocado sobre el trineo. Cuanto mayor sea el peso adicional añadido, mayor será la fricción y, por lo tanto, más lenta será la aceleración del atleta y menor la V_{\max} alcanzada. El coeficiente de fricción entre el trineo y la superficie de rodadura está determinado, por el tipo y la rugosidad de la superficie de los materiales utilizados en la base del trineo y la propia superficie de rodadura. Por esta razón, el uso de diferentes superficies (pista de hierba *versus* tartán) puede producir diferentes estímulos para la misma carga adicional (11, 110). Otro factor que puede alterar la fricción es la inercia del trineo, que es más alta cuando el trineo se mueve a baja velocidad.

Finalmente, una revisión sistemática reciente de Petrakos y coautores (11) describió con detalle las recomendaciones de entrenamiento en base a la literatura existente. Sin embargo, los autores concluyeron que los beneficios de rendimiento del RST sobre el URS aún deben demostrarse de manera concluyente. Las comparaciones entre estudios son limitadas, principalmente debido a discrepancias en el estado de entrenamiento y el nivel de los participantes y la prescripción de la carga del trineo, lo que indica que se requiere trabajo futuro para definir la carga de entrenamiento óptima para el RST, dependiendo de los componentes específicos del rendimiento de esprint a mejorar.

En un esfuerzo por aclarar las discrepancias existentes en la literatura, se deben abordar las siguientes preguntas: (1) ¿el RST mejora el rendimiento del esprint? (2) ¿el efecto será mayor cuando se use el RST para las diferentes fases del esprint?; (3) ¿es el RST más efectivo que el URS?; (4) ¿cuál es la “carga óptima” cuando se aplica el RST para obtener mayores adaptaciones en el esprint? (5) ¿debería ser diferente la carga para cada una de las diferentes fases del esprint?; (6) ¿el RST tiene un efecto diferente en los atletas dependiendo de la edad? (7) ¿el efecto será mayor si el atleta está altamente entrenado?; (8) ¿cuántos días por semana se debe aplicar el RST?; (9) ¿durante cuántas semanas se debe aplicar el RST?; y (10) ¿puede la superficie afectar las adaptaciones sobre el rendimiento?

Por lo tanto, y en respuesta a las preguntas planteadas por la literatura actual, el objetivo de esta revisión sistemática con meta-análisis es doble: (1)

revisar el estado de la literatura actual sobre estudios de intervención que han analizado los efectos del RST sobre el rendimiento de esprint tanto en la fase de aceleración como en la de máxima velocidad en atletas sanos y (2) para establecer qué características de carga para el RST están asociadas con las mayores mejoras en el rendimiento del esprint?.

5.2. MÉTODOS

Seguimos las directrices de la declaración principal para revisiones sistemáticas y meta-análisis (PRISMA) (115) para los procedimientos de búsqueda, selección de estudios, recopilación y análisis de datos.

5.2.1. Fuentes de información y recopilación de datos

La búsqueda fue realizada por dos revisores independientes, utilizando para identificar los estudios de esta revisión las siguientes bases de datos: PubMed, SPORTDiscus y Web of Science. Los resultados de la búsqueda se limitaron a estudios publicados hasta el 9 de enero de 2018 inclusive. Los revisores realizaron una búsqueda manual y digital con las siguientes frases de búsqueda booleanas en todas las bases de datos mencionadas: (“Sprint” OR “Pulling” OR “Towing” OR “Training”) AND (“Sled” OR “Resisted”). La Figura 1 muestra el diagrama de flujo con todo el proceso de búsqueda para ambas variables.

5.2.2. Criterios de inclusión

Se debían cumplir los siguientes criterios de inclusión para que un estudio fuera considerado para esta revisión: (1) tipo de publicación: sólo se consideraron artículos publicados en revistas científicas; (2) tipo de estudio: sólo se consideraron estudios experimentales y longitudinales originales; (3) participantes: los participantes del estudio fueron sujetos, al menos recreacionalmente activos, que remolcaron o tiraron de un trineo mientras corrían a máxima intensidad; (4) intervención: el remolque de un trineo y el esprint debían haber sido uno de los métodos de entrenamiento utilizados; (5) variables resultado: los estudios debían haber identificado la carga utilizada en el trineo, la

distancia testeada hasta un máximo de 100 m con al menos uno de las siguientes variables: tiempo de carrera y/o velocidad media de la carrera, los resultados de la prueba antes y después del periodo de intervención y la prueba utilizada; (6) las pruebas se debían haber medido con una máquina electrónica automática, como células fotoeléctricas o radar, o mediante un método manual, como un cronómetro; (7) sólo se consideraron los estudios en lengua inglesa; (8) evaluación de la calidad: puntuación superior a 6 puntos en la escala de la base de datos de pruebas de fisioterapia (PEDro) para una revisión sistemática (116-118).

Todos los estudios que incluyeron el tiempo invertido en cubrir una distancia máxima de 10 m se utilizaron para el análisis de subgrupos de la fase de aceleración. Todos los estudios que midieron el tiempo necesario para cubrir una distancia de al menos 15 m a la máxima intensidad, usando una distancia de lanzado igual o superior a 10 m, antes del registro de tiempo se usaron para el análisis de subgrupos de la fase de máxima velocidad. Todos los estudios que incluyeron el tiempo utilizado para cubrir una distancia de al menos 20 m se utilizaron para el análisis de subgrupos del esprint completo. Para los estudios que no incluyeron el tiempo, pero mostraron la velocidad promedio y la distancia cubierta, el tiempo se calculó como: $\text{tiempo} = \text{distancia} / \text{velocidad promedio}$. Del mismo modo, para los estudios que incluyeron el tiempo de carrera y presentaron la fase de aceleración y los datos completos de carrera, o la fase de aceleración y la fase de máxima velocidad, el tiempo se calculó como la resta o suma (basada en las condiciones, respectivamente) de los datos medios conocidos.

5.2.3. Selección de estudios

Dos revisores diferentes evaluaron de forma independiente los títulos y resúmenes de los estudios que resultaron de la búsqueda. Los desacuerdos entre los dos revisores se resolvieron mediante discusión; y cuando fue necesario, se consultó a un tercer revisor para llegar a un consenso.

Para esta revisión, solo se seleccionaron los estudios que cumplieron con los criterios de elegibilidad. Los revisores evaluaron de forma independiente la calidad metodológica de los estudios seleccionados utilizando la escala PEDro (116-118).

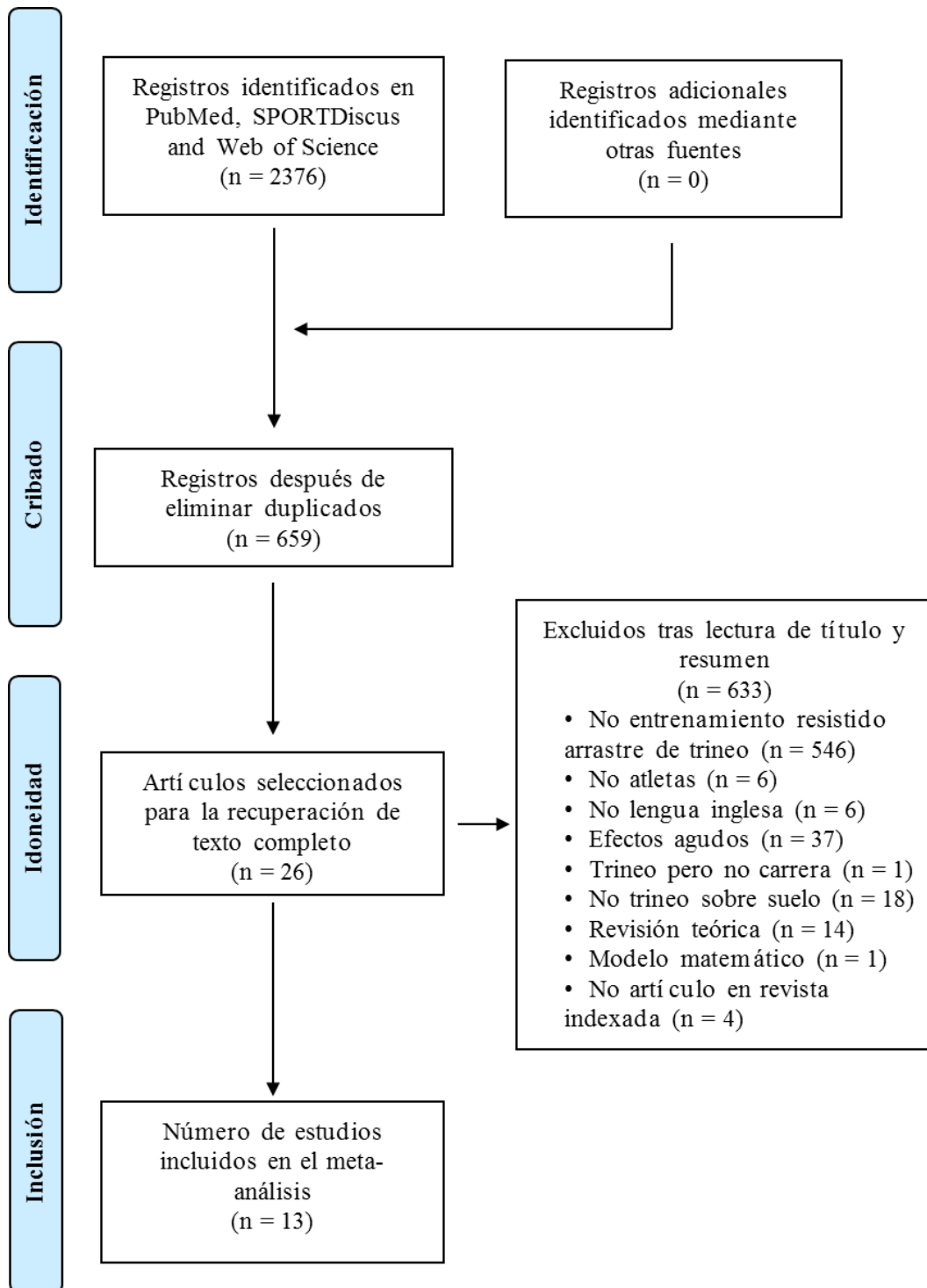


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección.

5.2.4. Extracción y análisis de datos

Un revisor extrajo la siguiente información de cada artículo de texto completo, y un segundo revisor confirmó la extracción. Las discrepancias en la extracción de los datos fueron resueltas por un tercer revisor.

El software Review Manager (RevMan 5.2; Cochrane Collaboration, Oxford, UK) y el Comprehensive Meta-analysis software (Versión 2; Biostat, Englewood, NJ, EEUU) se utilizaron para el meta-análisis. Se utilizó un modelo de efecto aleatorizado. La heterogeneidad entre los estudios se evaluó usando el estadístico I^2 .

Se realizaron análisis de subgrupos para evaluar los posibles factores moderadores o variables. Para la comparación de variables continuas, se usaron los valores de corte basados en las medianas del análisis completo de los sprints. Sin embargo, en casos específicos, el corte se estableció de una manera arbitraria (por ejemplo, la carga). El sesgo de publicación se evaluó mediante la estimación de la prueba de asimetría del gráfico de embudo. Un valor P inferior a 0.05 se consideró estadísticamente significativo. La desviación estándar (SD) se calculó como la raíz cuadrada de la suma de las SDs cuadradas del tiempo medio en las condiciones conocidas. La d de Cohen se usó para calcular el tamaño del efecto (ES, 95% de límite de confianza) de cada estudio usando la siguiente ecuación (119):

$$ES = \frac{M_{\text{post}} - M_{\text{pre}}}{SD_{\text{pre}}} \left(1 - \frac{3}{4n - 5} \right)$$

Donde M_{pre} es el valor medio antes de la intervención, M_{post} es el valor medio después de la intervención, n es el tamaño de la muestra del grupo y S_{pre} es la SD pre-intervención. Los valores umbral para la estadística del ES d de Cohen fueron: >0.2 (*small*), >0.6 (*moderate*) y >1.2 (*large*) (120).

5.2.5. Riesgo de sesgo

La calidad metodológica y el riesgo de sesgo se evaluaron de forma independiente a través de la interpretación visual del gráfico de embudo por dos autores, resolviendo los posibles desacuerdos por un tercer evaluador, de acuerdo con las directrices de la Colaboración Cochrane (121).

5.3. RESULTADOS

5.3.1. Características de los estudios incluidos

Se identificaron un total de 2376 estudios siguiendo los procedimientos de selección, quedando 659 estudios tras eliminar los duplicados. Finalmente, se incluyeron 13 estudios (65, 69, 70, 76, 77, 84, 103, 112, 122-126) en este meta-análisis (Tabla 1). Todos los estudios incluidos tenían un grupo de RST representando un total de 32 subgrupos analizados para el tiempo de esprint. Sin embargo, solo diez estudios (65, 69, 70, 76, 112, 123-126) tenían grupos control, lo que representaba un total de 15 subgrupos analizados.

La calidad (validez interna) de los ensayos, según la escala PEDro (118), fue alta. La puntuación promedio fue de ocho sobre un total de diez puntos.

Tabla 1. Características principales de los estudios incluidos en el meta-análisis.

ESTUDIO	TIPO	N		MUJERES (%)	EDAD (años)	PESO (kg)	ALTURA (cm)	NIVEL
		CG	RST					
Alcaraz et al. 2014	A: 0-15 m	11	11	45	21.5±2.2	69.8±14.7	173.0±10.5	Altamente entrenados
	B: 15-50 m	-	-	-	-	-	-	
	C: 0-50 m	-	-	-	-	-	-	
Bachero-Mena et al. 2014	LL-A: 0-20 m	-	7	0	21.9±2.3	75.8±10.7	180.9±6.8	Recreacionalmente activos
	LL-B: 20-40 m	-	-	-	-	-	-	
	LL-C: 0-40 m	-	-	-	-	-	-	
	ML-A: 0-20 m	-	-	-	-	-	-	
	ML-B: 20-40 m	-	6	0	20.8±2.1	66.8±8.5	173.8±4.6	
	ML-C: 0-40 m	-	-	-	-	-	-	
Clark et al. 2010	HL-A: 0-20 m	-	6	0	19.8±1.6	70.2±11.9	175.4±6.8	Entrenados
	HL-B: 20-40 m	-	-	-	-	-	-	
	HL-C: 0-40 m	-	-	-	-	-	-	
De Hoyo et al. 2016	B: 18.3-54.9 m	7	7	0	19.7±1.0	87.9±17.3	181.15±6.8	Altamente entrenados
	A: 0-20 m	-	-	-	-	-	-	
	C: 0-50 m	-	-	-	-	-	-	
Harrison et al. 2009	B: 20-50 m	-	13	0	17.0±1.0	73.1±2.56	178.24±1.3	Altamente entrenados
	A: 0-10 m	7	8	0	20.5±2.8	87.0±10.5	N/A	
	C: 0-50 m	-	-	-	-	-	-	
Kawamori et al. 2014	A: 0-10 m	7	8	0	20.5±2.8	87.0±10.5	N/A	Recreacionalmente activos
	LL: 0-10 m	-	11	0	22.3±5.2	82.5±9.0	183.0±0.07	
	HL: 0-10 m	-	10	0	22.8±3.3	77.5±7.3	179.0±0.08	
Lockie et al. 2012	A: 0-10 m	9	9	0	23.1±4.2	83.1±8.6	182.0±0.1	Entrenados
	B: 10-30 m	8	10	100	20.4±3.1	74.6±5.9	170.3±5.3	
	C: 0-30 m	-	-	-	-	-	-	

Los datos se presentan como media ± SD o n. a = Todas las características se refieren al grupo de RST; CG = grupo de control; RST = grupo de ejercicio de entrenamiento resistido con arrastre de trineo; LL = carga baja; ML = carga moderada; HL = carga alta; A = distancia de fase de aceleración; B = distancia de fase de máxima velocidad; y C = distancia del sprint completo.

Tabla 1 (Continuación)

ESTUDIO	TIPO	N	MUJERES (%)	EDAD (años)	PESO (kg)	ALTURA (cm)	NIVEL	ESTUDIO
Makaruk et al. 2013	A: 0-20 m	12	12	100	22.0±0.9	61.5±4.7	167.0±0.1	Recreacionalmente activos
Morin et al. 2016	A: 0-20 m	6	10	0	26.3±4.0	74.5±5.3	177.0±0.1	Entrenados
Spinks et al. 2007	A: 0-15 m	10	10	0	21.8±4.2	83.3±8.7	181.9±6.2	Entrenados
West et al. 2013	A: 0-10 m B: 10-30 m C: 0-30 m	10	10	0	26.8±3.0	90.2±10.3	186.0±8.0	Altamente entrenados
Zafeiridis et al. 2005	A: 0-20 m B: 20-50 m C: 0-50 m	11	11	0	20.1±1.9	73.1±2.4	178.0±7.0	Recreacionalmente activos

Los datos se presentan como media ± SD o n. a = Todas las características se refieren al grupo de RST; CG = grupo de control; RST = grupo de ejercicio de entrenamiento resistido con arrastre de trineo; LL = carga baja; ML = carga moderada; HL = carga alta; A = distancia de fase de aceleración; B = distancia de fase de máxima velocidad; y C = distancia del sprint completo.

5.3.2. Características de las intervenciones

La Tabla 2 muestra las características de los diferentes grupos de intervención de RST. La carga del ejercicio de arrastre de trineo osciló entre el 5 y el 80% del BM. Las intervenciones variaron de 4 a 10 semanas de duración, con una frecuencia de una a tres sesiones por semana. La distancia recorrida en la prueba de evaluación de velocidad varió de 10 a 50 m. En cuanto a la evaluación del tiempo de esprint, nueve de los estudios utilizaron células fotoeléctricas (69, 70, 76, 84, 103, 112, 122, 123, 126), tres estudios utilizaron un cronómetro (65, 77, 124), y sólo un estudio utilizó un método indirecto (125) que fue recientemente validado por Samozino y coautores (106) para registrar el rendimiento de esprint.

Tabla 2. Características de las intervenciones de entrenamiento resistido con arrastre de trineo y evaluación del tiempo de sprint de los estudios incluidos en el meta-análisis.

Estudio	Frecuencia (días/semana)	Volumen sesión (m)	Volumen total entrenamiento (m)	Duración (semanas)	Superficie	Carga (% BM)	Evaluación tiempo sprint	
							Instrumento	Distancia total
Alcaraz et al. 2014	2	90-180	1080	4	Pista	~8-9	Fotocélulas	50 m
Bachero-Mena et al. 2014	2	100-210	2115	7	Pista	12.5 20	Fotocélulas	40 m
Clark et al. 2010	2	240-400	4060	7	Rígida	10.2	Fotocélulas	36.6 m
De Hoyo et al. 2016	1-2	120-200	2680	8	Hierba	12.6	Fotocélulas	50 m
Harrison et al. 2009	2	120	1440	6	Pista	~13	Fotocélulas	10 m
Kawamori et al. 2014	2	90-140	1740	8	Rígida	~13 ~43	Fotocélulas	10 m
Lockie et al. 2012	2	195-320	3100	6	Hierba	12.6	Velocímetro con cronómetro	10 m
Luteberget et al. 2015	2	240-280	5200	10	Rígida	12.4	Fotocélulas	30 m
Makaruk et al. 2013	2	180-360	6210	9	Hierba	7.5-10	Cronómetro	20 m
Morin et al. 2016	2	100	1600	8	Hierba	80	Método Indirecto	20 m
Spinks et al. 2007	2	215-340	4090	8	Rígida	12.6	Cronómetro	15 m
West et al. 2013	2	60	720	6	Rígida	12.6	Fotocélulas	30 m
Zafeiridis et al. 2005	3	280	6720	8	Pista	~6.8	Fotocélulas	50 m

Los datos se presentan como media o rango. BM = Peso Corporal.

5.3.3. Fase de aceleración

El efecto del RST sobre el tiempo de esprint se midió en un total de 144 participantes. Los resultados de los efectos generales sobre el tiempo de esprint mostraron una mejora significativa y *moderate* pre-post en el rendimiento del esprint (ES = 0.61; $P = 0.0001$; diferencia de medias estandarizada [SMD] = 0.57; intervalo de confianza del 95% [CI] 0.85 a 0.28), con una heterogeneidad promedio de $I^2 = 28\%$ (Figura 2) (65, 69, 76, 77, 84, 103, 112, 122-126). Además, en los estudios que incluyeron grupo control, se encontró una mejora no significativa en los participantes pertenecientes al grupo de RST en comparación con el grupo control (ES = 0.09; $P = 0.64$; SMD = 0.07; CI [95%]: 0.37 a 0.23), con una heterogeneidad promedio de $I^2 = 0\%$ (Figura 3) (65, 69, 76, 77, 112, 123-126).

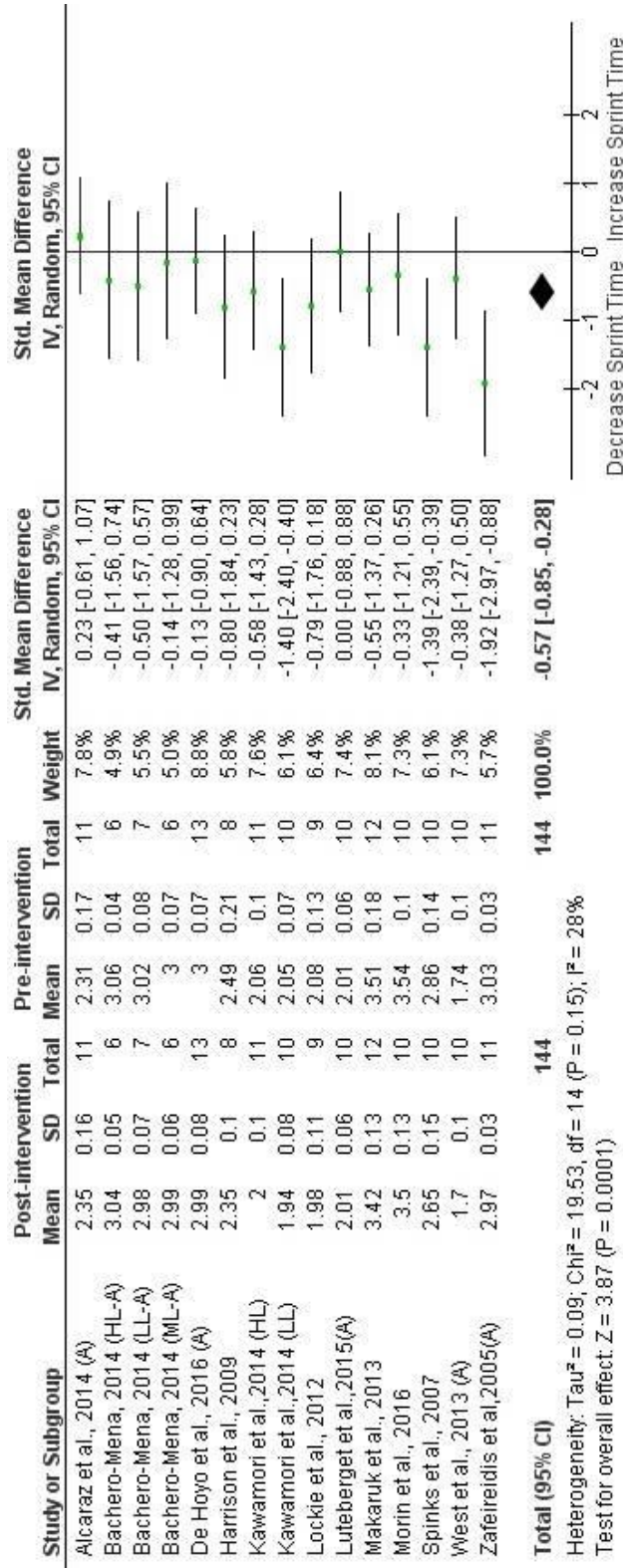


Figura 2. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de aceleración. Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada de todos los ensayos. A: fase de aceleración; CI: intervalo de confianza; HL: carga alta; IV: variable independiente; LL: carga baja, ML: carga moderada; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

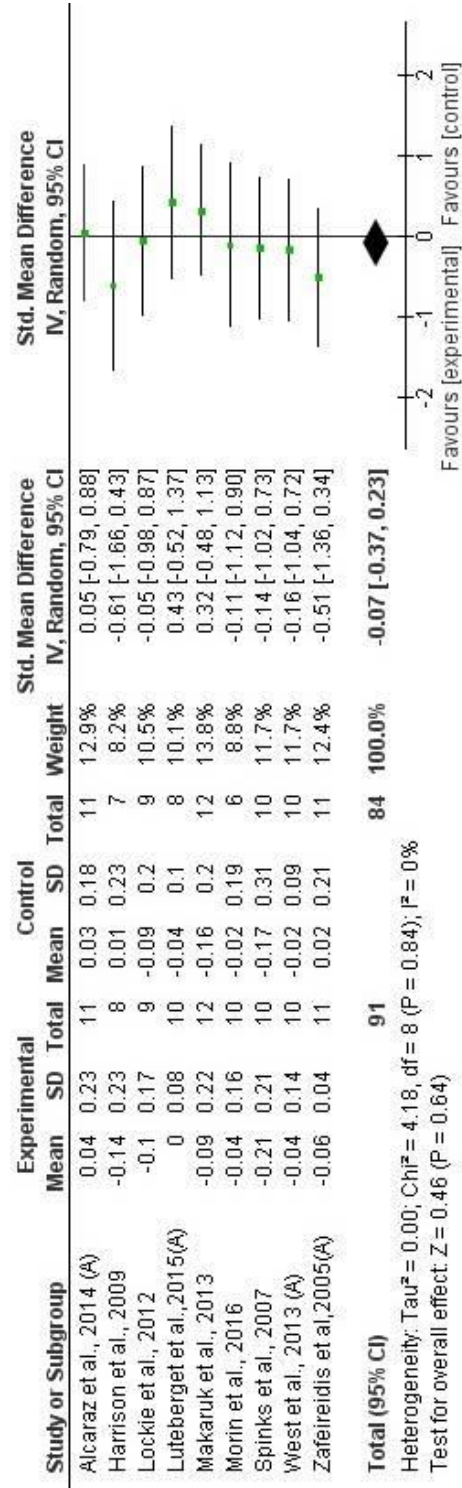


Figura 3. SMD en el tiempo de esprint post-intervención entre los atletas entrenados con RST y el grupo control en la fase de aceleración. Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. A: fase de aceleración; CI: intervalo de confianza; IV: variable independiente; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

La Tabla 3 presenta el análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales del tiempo de esprint para la fase de aceleración. En cuanto a las características de la población, se encontraron mejoras significativas ($P \leq 0.05$) para la edad, el sexo y el nivel de los atletas. Se obtuvieron efectos *moderate* para la edad (< 21 años, $ES = 0.60$; ≥ 21 años, $ES = 0.62$), el sexo masculino ($ES = 0.73$), atletas recreacionalmente activos ($ES = 0.75$) y atletas entrenados ($ES = 0.84$). Sin embargo, no se encontraron mejoras significativas para el sexo femenino ($ES = 0.14$) y atletas altamente entrenados ($ES = 0.30$). Además, el análisis de subgrupos reveló diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el sexo y el nivel.

Tabla 3. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo de sprint en la fase de aceleración en los estudios incluidos en el meta-análisis.

GRUPO	NÚMERO *	ESTUDIOS REFERENCIAS	ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO			
			SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	P
CARACTERÍSTICAS POBLACIÓN						
Edad (~17-27 años)						
< 21	7	Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A, De Hoyo A, Harrison, Luteberget A, Zafeiridis A	-0.53 [-1.01, -0.04]	0.60	40	0.03
≥ 21	8	Alcaraz A, Kawamori LL, HL, Lockie, Makaruk, Morin, Spinks, West A	-0.60 [-0.97, -0.23]	0.62	25	0.001
Sexo						
Femenino ≥ 45% muestra	3	Alcaraz A, Luteberget A, Makaruk	-0.12 [-0.60, 0.37]	0.14	0	0.64
Masculino	12	Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A [94], De Hoyo A, Harrison, Kawamori LL, HL, Lockie, Morin, Spinks, West A, Zafeiridis A	-0.70 [-1.01, -0.39]	0.73	20	<0.001
Nivel						
Recreacionalmente activos	7	Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A, Kawamori LL, HL, Makaruk, Zafeiridis A	-0.79 [-1.24, -0.34]	0.75	29	<0.001
Entrenados	5	Kawamori LL, HL, Lockie, Morin, Spinks	-0.85 [-1.27, -0.43]	0.84	0	<0.001
Altamente Entrenados	5	Alcaraz A, De Hoyo A, Harrison, Luteberget A, West A	-0.17 [-0.56, 0.22]	0.30	0	0.39
Características Deporte						
Deportes de Equipo	9	De Hoyo A, Harrison, Kawamori LL, HL, Lockie, Luteberget A, Morin, Spinks, West A	-0.58 [-0.91, -0.26]	0.66	11	<0.001
Deportes Individuales	1	Alcaraz A	0.23 [-0.61, 1.07]	0.23	N/A	0.59

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera posterior a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga; ML = carga media; HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = Peso corporal; CI = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; I² = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; P_{between} = prueba para las diferencias de subgrupos.

Tabla 3 (Continuación)

GRUPO	NÚMERO *	ESTUDIOS REFERENCIAS	ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO				
			SMD (95% CI)	ES	F (%)	P	P _{diferencia}
CARACTERÍSTICAS							
EJERCICIO							
Carga (5-80% BM)							
< 20% BM	12	Alcaraz A, Bachero-Mena LL-A, ML-A, De Hoyo A, Harrison, Kawamori LL, Lockie, Luteberget A, Makaruk, Spinks, West A, Zafeiridis A	-0.61 [-0.97, -0.25]	0.61	43	<0.001	0.63
≥ 20% BM	3	Bachero-Mena HL-A, Kawamori HL, Morin	-0.45 [-0.99, 0.10]	0.63	0	0.11	
Frecuencia (1-3 semana ^a)							
≤ 2 semana ^a	14	Alcaraz A, Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A, De Hoyo A, Harrison, Kawamori LL, HL, Lockie, Luteberget A, Makaruk, Morin, Spinks, West A	-0.47 [-0.72, -0.22]	0.52	0	<0.001	0.008
> 2 semana ^a	1	Zafeiridis A	-1.92 [-2.97, -0.88]	1.85	N/A	<0.001	
Duración (4-10 semanas)							
≤ 6 semanas	4	Alcaraz A, Harrison, Lockie, West A	-0.38 [-0.87, 0.11]	0.55	12	0.13	
> 6 semanas	11	Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A, De Hoyo A, Kawamori LL, HL, Luteberget A, Makaruk, Morin, Spinks, Zafeiridis A	-0.64 [-0.99, -0.28]	0.63	35	<0.001	0.41

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera previo a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga; ML = carga media; HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = Peso corporal; CI = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; F = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; P_{diferencia} = prueba para las diferencias de subgrupos.

Tabla 3 (Continuación)

GRUPO	NÚMERO •	ESTUDIOS REFERENCIAS	ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO			
			SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	P
Volumen Sesión (60-360 m)						
≤ 160	10	Alcaraz A, Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A, De Hoyo A, Harrison, Kawamori LL, HL, Morin, West A	-0.40 [-0.70, -0.11]	0.46	0	0.008
> 160	5	Lockie, Luteberget A, Makaruk, Spinks, Zafeiridis A	-0.89 [-1.53, -0.25]	0.92	57	0.006
Volumen Total Entrenamiento (720-6720 m)						
≤ 2680	11	Alcaraz A, Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A, De Hoyo A, Harrison, Kawamori LL, HL, Morin, Spinks, West A	-0.49 [-0.79, -0.19]	0.53	9	0.001
> 2680	4	Lockie, Luteberget A, Makaruk, Zafeiridis A	-0.78 [-1.52, -0.03]	0.83	62	0.04
Superficie						
Rígida	5	Kawamori LL, HL, Luteberget A, Spinks, West A	-0.71 [-1.24, -0.18]	0.69	40	0.009
Pista	6	Alcaraz A, Bachero-Mena LL-A, ML-A, HL-A, Harrison, Zafeiridis A	-0.57 [-1.19, 0.05]	0.64	54	0.07
Césped	4	De Hoyo A, Lockie, Makaruk, Morin	-0.42 [-0.84, 0.01]	0.47	0	0.05

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera previo a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga; ML = carga media; HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = Peso corporal; CI = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; I² = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; P_{subgrupos} = prueba para las diferencias de subgrupos.

Con respecto a las características del ejercicio, se encontraron mejoras significativas ($P \leq 0.05$) para el uso de cargas bajas ($< 20\%$ del BM) (Figura 4), la frecuencia de entrenamiento, la duración del período de entrenamiento, el volumen de la sesión, el volumen total de entrenamiento y las superficies rígidas y de césped. Se obtuvo un tamaño del efecto *large* para una frecuencia de entrenamiento de más de dos veces por semana (ES = 1.85) (126), y *moderate* para el uso de cargas bajas (ES = 0.61) (65, 69, 76, 77, 84, 103, 112, 122-124, 126), períodos de entrenamiento con una duración superior a 6 semanas (ES = 0.63) (77, 84, 103, 122-126), un volumen de sesión superior a 160 m (ES = 0.92) (65, 77, 123, 124, 126), un volumen total de entrenamiento superior a 2680 m (ES = 0.83) (65, 123, 124, 126) y para superficies rígidas (ES = 0.69) (77, 103, 112, 123). También se encontraron efectos *small* para una frecuencia de entrenamiento menor o igual a dos entrenamientos por semana (ES = 0.52) (65, 69, 76, 77, 84, 103, 112, 122-125), un volumen total de entrenamiento inferior a 2680 m (ES = 0.53) (69, 76, 77, 84, 103, 112, 122, 125), y para superficies de hierba (ES = 0.47) (65, 84, 124, 125). Sin embargo, no se encontraron mejoras significativas para el uso de cargas elevadas ($\geq 20\%$ del BM, ES = 0.63) (103, 122, 125), un período de entrenamiento inferior o igual a 6 semanas (ES = 0.55) (65, 69, 76, 112), y para superficies de tartán (ES = 0.64) (69, 76, 122, 126). Además, se encontraron diferencias significativas entre subgrupos ($P \leq 0.05$) para la frecuencia de entrenamiento; sin embargo, debe tenerse en cuenta que sólo un estudio evaluó una frecuencia de entrenamiento superior a dos veces por semana.

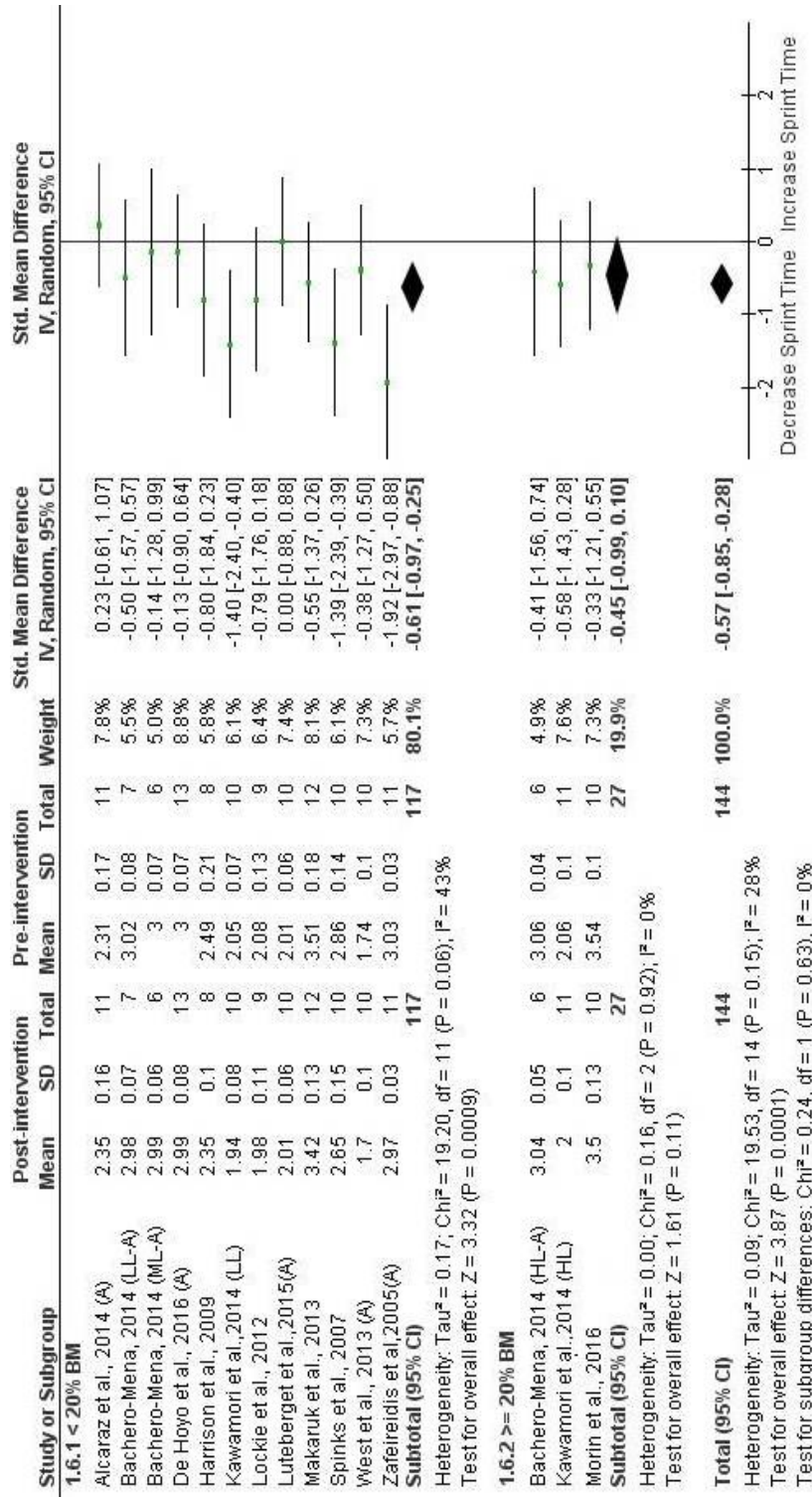


Figura 4. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de aceleración según las diferentes condiciones de carga (análisis de subgrupos). Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. A: fase de aceleración; HL: carga alta; ML: carga moderada; LL: carga baja; BM: peso corporal; CI: intervalo de confianza; IV: variable independiente; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

5.3.4. Fase de máxima velocidad

El efecto del RST sobre el tiempo de esprint durante la fase de máxima velocidad se midió en un total de 81 participantes. Los resultados de los efectos globales sobre el tiempo de esprint mostraron una mejora no significativa pre-post para el tiempo de esprint ($ES = 0.27$; $P = 0.25$; $SMD = 0.18$; $CI [95\%]: 0.49$ a 0.13), con una heterogeneidad promedio de $I^2 = 0\%$ (Figura 5) (69, 70, 84, 112, 122, 123, 126). Además, los estudios que incluyeron grupo control encontraron una mejora no significativa en el grupo de RST en comparación con el grupo control ($ES = 0.29$; $P = 0.23$; $SMD = 0.26$; $CI [95\%]: 0.16$ a 0.68), con una heterogeneidad promedio de $I^2 = 5\%$ (Figura 6) (69, 70, 112, 123, 126).

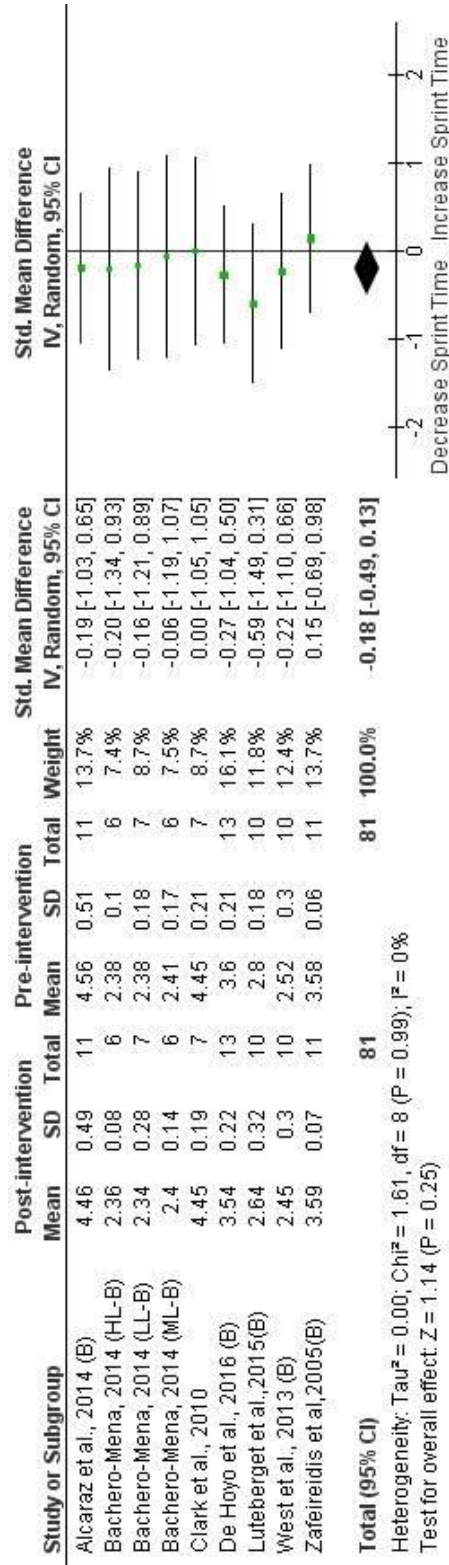


Figura 5. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de máxima velocidad. Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. B: fase de máxima velocidad; CI: intervalo de confianza; HL: carga alta; IV: variable independiente; LL: carga baja; ML: carga moderada; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

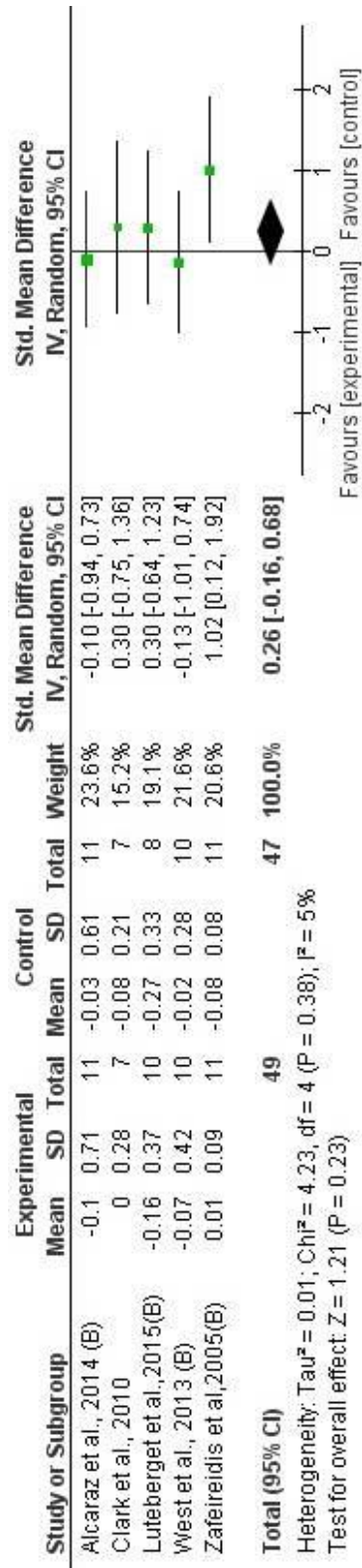


Figura 6. SMD en el tiempo de esprint post-intervención entre los atletas entrenados con RST y el grupo control en la fase de máxima velocidad. Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. B: fase de máxima velocidad; CI: intervalo de confianza; IV: variable independiente; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

El análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo de esprint en la fase de máxima velocidad se presenta en la Tabla 4. Tanto para las características de población como del ejercicio, los efectos fueron *trivial* a *small* (ES = 0.00-0.43) para la fase de máxima velocidad (Figura 7).

Tabla 4. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo de sprint en la fase de máxima velocidad en los estudios incluidos en el meta-análisis.

GRUPO	ESTUDIOS		ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO			
	Número *	Referencias	SMD (95% CI)	ES	F (%)	P
CARACTERÍSTICAS POBLACIÓN						
Edad (~17-27 años)						
< 21	7	Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, Clark, De Hoyo B, Luteberget B, Zafeiridis B	-0.17 [-0.53, 0.19]	0.26	0	0.35
≥ 21	2	Alcaraz B, West B	-0.21 [-0.81, 0.40]	0.28	0	0.50
Sexo						
Femenino	2	Alcaraz B, Luteberget B	-0.38 [-0.99, 0.24]	0.18	0	0.23
≥45% muestra						0.47
Masculino	7	Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, Clark, De Hoyo B, West B, Zafeiridis B	-0.11 [-0.47, 0.25]	0.23	0	0.54
Nivel						
Recreacionalmente activos	4	Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, Zafeiridis B	-0.04 [-0.54, 0.47]	0.21	0	0.89
Entrenados	1	Clark	0.00 [-1.05, 1.05]	0.00	N/A	1
Altamente Entrenados	4	Alcaraz B, De Hoyo B, Luteberget B, West B	-0.31 [-0.73, 0.11]	0.39	0	0.15
Características Deporte						
Deportes de Equipo	4	Clark, De Hoyo B, Luteberget B, West B	-0.29 [-0.73, 0.15]	0.34	0	0.20
Deportes Individuales	1	Alcaraz B	-0.19 [-1.03, 0.65]	0.20	N/A	0.65

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera posterior a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga; ML = carga media; HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = masa corporal; IC = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; F = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; P_{group} = prueba para las diferencias de subgrupos.

Tabla 4 (Continuación)

GRUPO	ESTUDIOS		ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO				
	Número	Referencias	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	P	P _{Difference}
CARACTERÍSTICAS EJERCICIO							
Carga (5-20% BM)							
< 20% BM	8	Alcaraz B, Bachero-Mena LL-B, ML-B, Clark, De Hoyo B, Luteberget B, West B, Zafeiridis B	-0.18 [-0.50, 0.14]	0.26	0	0.28	0.97
≥ 20% BM	1	Bachero-Mena HL-B	-0.20 [-1.34, 0.93]	0.28	N/A	0.73	
Frecuencia (1-3 semana ⁻¹)							
≤ 2 semana ⁻¹	8	Alcaraz B, Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, Clark, De Hoyo B, Luteberget B, West B	-0.23 [-0.57, 0.10]	0.25	0	0.17	0.41
> 2 semana ⁻¹	1	Zafeiridis B	0.15 [-0.69, 0.98]	0.13	N/A	0.73	
Duración (4-8 semanas)							
≤ 6 semanas	2	Alcaraz B, West B	-0.21 [-0.81, 0.40]	0.28	0	0.50	0.92
> 6 semanas	7	Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, Clark, De Hoyo B, Luteberget B, Zafeiridis B	-0.17 [-0.53, 0.19]	0.26	0	0.35	

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera previo a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga; ML = carga media; HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = masa corporal; IC = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; I² = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; P_{Difference} = prueba para las diferencias de subgrupos.

Tabla 4 (Continuación)

GRUPO	ESTUDIOS		ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO				
	Número ^a	Referencias	SMD (95% CI)	ES	F (%)	P	P _{Difference}
Volumen sesión (60-400 m)							
≤ 160	6	Alcaraz B, Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, De Hoyo B, West B	-0.20 [-0.58, 0.18]	0.32	0	0.31	0.87
> 160	3	Clark, Luteberget B, Zafeiridis B	-0.15 [-0.67, 0.38]	0.15	0	0.59	
Volumen total entrenamiento (720-6720 m)							
≤ 2680	6	Alcaraz B, Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, De Hoyo B, West B	-0.20 [-0.58, 0.18]	0.32	0	0.31	0.87
> 2680	3	Clark, Luteberget B, Zafeiridis B	-0.15 [-0.67, 0.38]	0.15	0	0.59	
Superficie							
Rígida	3	Clark, Luteberget B, West B	-0.30 [-0.84, 0.24]	0.31	0	0.28	0.80
Pista	5	Alcaraz B, Bachero-Mena LL-B, ML-B, HL-B, Zafeiridis B	-0.08[-0.51, 0.36]	0.20	0	0.73	
Césped	1	De Hoyo B	-0.27 [-1.04, 0.50]	0.43	N/A	0.49	

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera posterior a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga, ML = carga media, HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = masa corporal, IC = intervalo de confianza, N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen, β = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; $P_{Differences}$ = prueba para las diferencias de subgrupos.

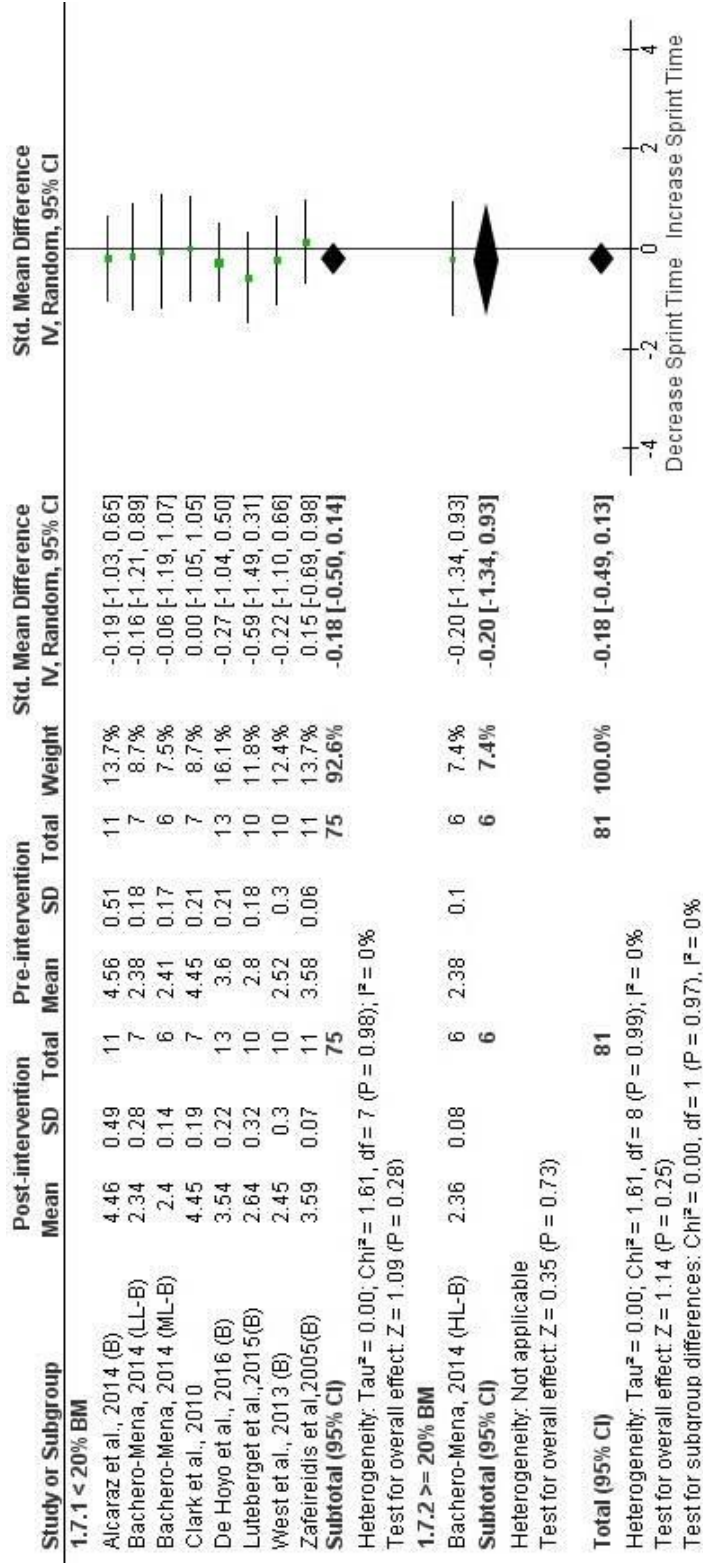


Figura 7. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en la fase de máxima velocidad según las diferentes condiciones de carga (análisis de subgrupos). Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. B: fase de máxima velocidad; BM: peso corporal; CI: intervalo de confianza; HL: carga alta; LL: carga baja; ML: carga moderada; IV: variable independiente; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

5.3.5. Esprint completo

El efecto del RST sobre el tiempo del esprint completo se midió en un total de 96 participantes. Los resultados de los efectos generales sobre el tiempo de esprint mostraron una mejora significativa pre-post ($P \leq 0.05$) en el rendimiento de esprint (ES = 0.36; $P = 0.009$; SMD = 0.38; CI [95%]: 0.67 a -0.10), con una heterogeneidad promedio de $I^2 = 0\%$ (Figura 8) (69, 84, 112, 122-126). Sin embargo, los estudios que incluían grupo control encontraron una mejora no significativa en los grupos de RST en comparación con los grupos control (ES = 0.05; $P = 0.89$; SMD = 0.03; CI [95%]: -0.40 a 0.47), con una heterogeneidad promedio de $I^2 = 0\%$ (Figura 9) (69, 112, 123, 126).

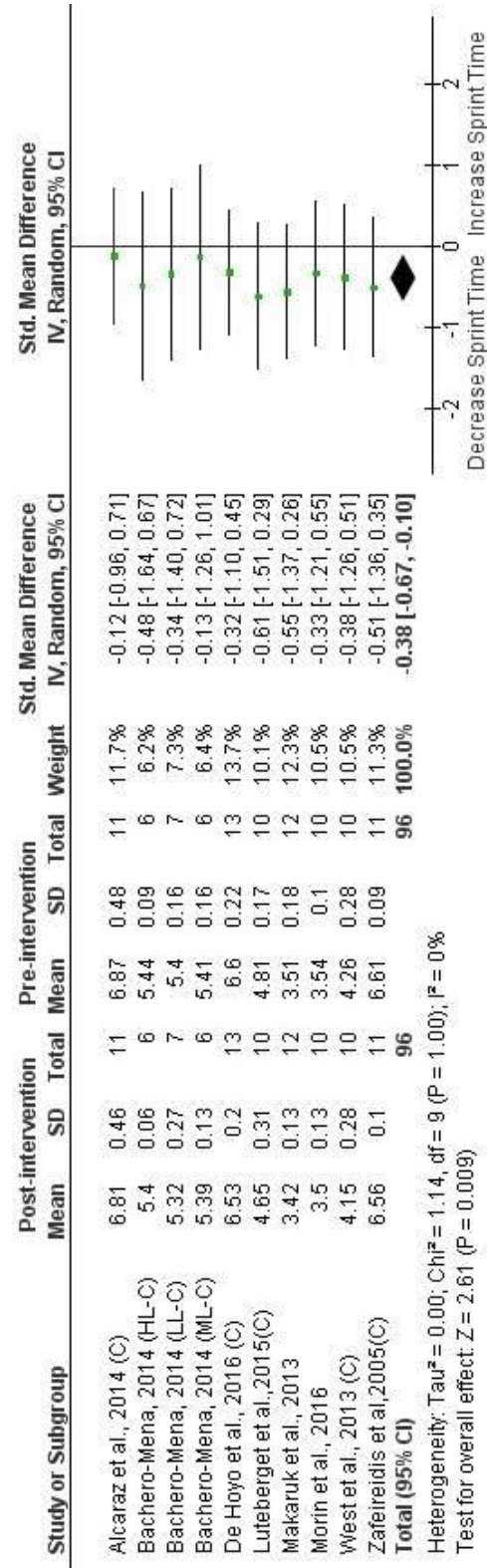


Figura 8. SMD entre el tiempo de esprint post- y pre-intervención en el esprint completo. Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. C: esprint completo; CI: intervalo de confianza; HL: carga alta; IV: variable independiente; LL: carga baja; ML: carga moderada; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

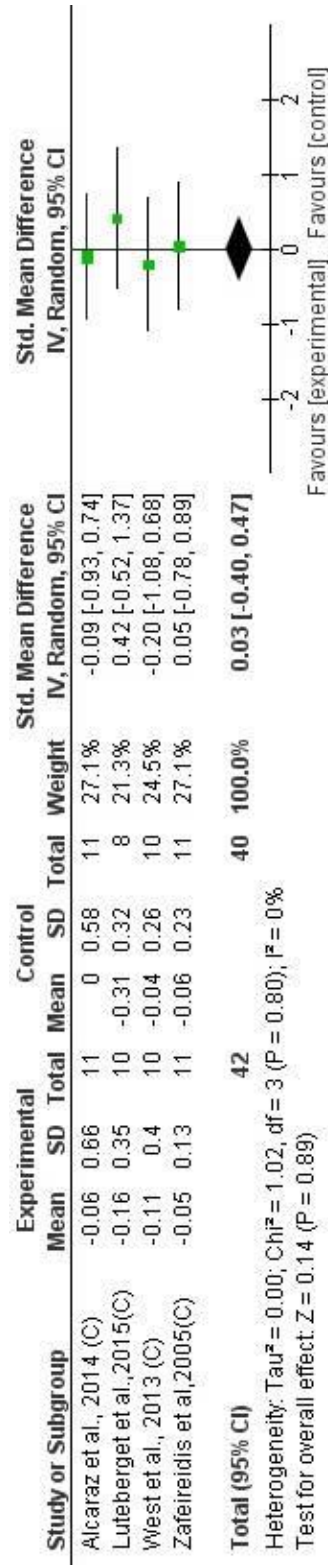


Figura 9. SMD en el tiempo de esprint post-intervención entre los atletas entrenados con RST y el grupo control en el esprint completo. Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. C: esprint completo; CI: intervalo de confianza; IV: variable independiente; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada.

La Tabla 5 presenta el análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo de esprint completo. Se encontraron efectos *small* (0.24-0.53) tanto para la población como para las características del ejercicio. Además, se encontraron mejoras significativas ($P \leq 0.05$) con efectos *small* para los atletas más jóvenes (< 21 años, ES = 0.37) (84, 122, 123, 126), de sexo masculino (ES = 0.34) (84, 112, 122, 125, 126), pertenecientes a deportes de equipo (ES = 0.42) (84, 112, 123-125), usando una carga inferior al 20% del BM (ES = 0.35) (Figura 10) (69, 84, 112, 122-124, 126), con una frecuencia de entrenamiento menor o igual a dos veces por semana (ES = 0.35) (69, 84, 112, 122-125), un período de entrenamiento superior a 6 semanas (ES = 0.39) (84, 122-126), un volumen de sesión superior a 160 m (ES = 0.53) (123, 124, 126), y un volumen total de entrenamiento superior a 2680 m (ES = 0.53) (123, 124, 126).

Tabla 5. Análisis de subgrupos que evalúa los factores moderadores potenciales para el tiempo de sprint durante el sprint completo en los estudios incluidos en el meta-análisis.

GRUPO	ESTUDIOS		ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO			
	Número *	Referencias	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	P _{Diff/genre}
CARACTERÍSTICAS						
POBLACIÓN						
Edad (~17-27 años)						
< 21	6	Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, De Hoyo C, Luteberget C, Zafeiridis C	-0.41 [-0.80, -0.02]	0.37	0	0.04
≥ 21	4	Alcaraz C, Makaruk, Morin, West C	-0.35 [-0.78, 0.08]	0.35	0	0.11
Sexo						
Femenino ≥ 45% muestra	3	Alcaraz C, Luteberget C, Makaruk	-0.42 [-0.91, 0.07]	0.41	0	0.09
Masculino	7	Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, De Hoyo C, Morin, West C, Zafeiridis C	-0.36 [-0.71, -0.01]	0.34	0	0.04
Nivel						
Recreacionalmente activos	4	Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, Zafeiridis C	-0.38 [-0.90, 0.13]	0.35	0	0.14
Entrenados	0	-	-	-	-	-
Altamente entrenados	4	Alcaraz C, De Hoyo C, Luteberget C, West C	-0.35 [-0.77, 0.08]	0.32	0	0.11
Características deporte						
Deportes de equipo	5	De Hoyo C, Luteberget C, Makaruk, Morin, West C	-0.43 [-0.81, -0.06]	0.42	0	0.02
Deportes individuales	1	Alcaraz C	-0.12 [-0.96, 0.71]	0.12	N/A	0.77

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera durante la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga; ML = carga media; HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = peso corporal; CI = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; I² = heterogeneidad; P = prueba del efecto global, P_{Diff/genre} = prueba para las diferencias de subgrupos.

Tabla 5 (Continuación)

GRUPO	ESTUDIOS		ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO			
	Número *	Referencias	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	P _{Difference}
CARACTERÍSTICAS						
EJERCICIO						
Carga (5-80% BM)						
< 20% BM	8	Alcaraz C, Bachero-Mena LL-C, ML-C, De Hoyo C, Luteberget C, Makaruk, West C, Zafeiridis C	-0.38 [-0.70, -0.07]	0.35	0	0.02
≥ 20% BM	2	Bachero-Mena HL-C, Morin	-0.39 [-1.09, 0.32]	0.42	0	0.28
Frecuencia (1-3 semana ⁻¹)						
≤ 2 semana ⁻¹	9	Alcaraz C, Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, De Hoyo C, Luteberget C, Makaruk, Morin, West C	-0.37 [-0.67, -0.06]	0.35	0	0.02
> 2 semana ⁻¹	1	Zafeiridis C	-0.51 [-1.36, 0.35]	0.46	N/A	0.24
Duración (4-10 semanas)						
≤ 6 semanas	2	Alcaraz C, West C	-0.24 [-0.85, 0.37]	0.24	0	0.44
> 6 semanas	8	Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, De Hoyo C, Luteberget C, Makaruk, Morin, Zafeiridis C	-0.42 [-0.75, -0.10]	0.39	0	0.01

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera previo a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga, ML = carga media, HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = peso corporal; CI = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; I² = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; P_{Difference} = prueba para las diferencias de subgrupos.

Tabla 5 (Continuación)

GRUPO	ESTUDIOS		ENTRENAMIENTO RESISTIDO TRINEO				
	Número •	Referencias	SMD (95% CI)	ES	P (%)	P ^{Difference}	
Volumen sesión (60-360 m)							
≤ 160	7	Alcaraz C, Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, De Hoyo C, Morin, West C	-0.29 [-0.65, 0.06]	0.29	0	0.10	0.40
> 160	3	Luteberget C, Makaruk, Zafeiridis C	-0.56 [-1.05, -0.06]	0.53	0	0.03	
Volumen total entrenamiento (720-6720 m)							
≤ 2680	7	Alcaraz C, Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, De Hoyo C, Morin, West C	-0.29 [-0.65, 0.06]	0.29	0	0.10	0.40
> 2680	3	Luteberget C, Makaruk, Zafeiridis C	-0.56 [-1.05, -0.06]	0.53	0	0.03	
Superficie							
Rígida	2	Luteberget C, West C	-0.49 [-1.12, 0.14]	0.42	0	0.13	0.90
Pista	5	Alcaraz C, Bachero-Mena LL-C, ML-C, HL-C, Zafeiridis C	-0.31 [-0.75, 0.12]	0.31	0	0.16	
Césped	3	De Hoyo C, Makaruk, Morin	-0.40 [-0.88, 0.07]	0.42	0	0.10	

Se realizaron análisis de subgrupos en SMD entre el tiempo de carrera previo y el tiempo de carrera previo a la intervención. Los valores medios de las variables continuas se usaron como valores de corte para los estudios de agrupamiento. Los cambios en los factores moderadores se calcularon como valores posteriores a la intervención menos los valores previos a la intervención. a = Número de grupos de intervención en los estudios. Algunos estudios incluidos no se incluyeron porque no se informó el valor utilizado para el análisis de subgrupos. LL = baja carga; ML = carga media; HL = carga alta; A = fase de aceleración; B = fase de máxima velocidad; C = sprint completo; BM = peso corporal; CI = intervalo de confianza; N/A = datos no disponibles; SMD = diferencia de medias estandarizada; ES = tamaño del efecto d de Cohen; \hat{P} = heterogeneidad; P = prueba del efecto global; P_{between} = prueba para las diferencias de subgrupos.

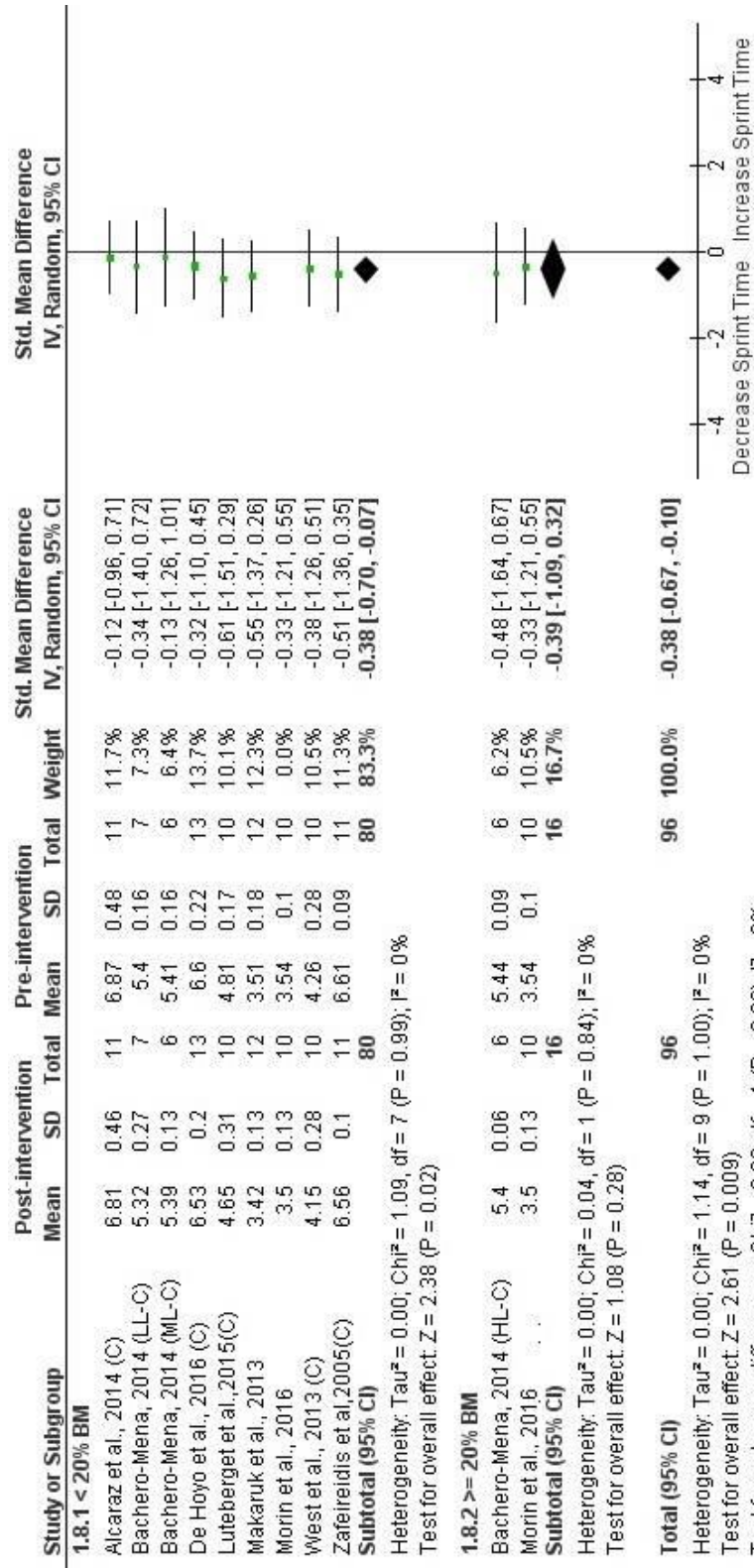


Figura 10. SMD entre el tiempo de sprint post- y pre-intervención en el esprint completo según las diferentes condiciones de carga (análisis de subgrupos). Los cuadrados verdes representan la SMD para cada prueba. Los diamantes representan la SMD agrupada en los ensayos. C: Esprint completo; BM: peso corporal; CI: intervalo de confianza; HL: carga alta; IV: variable independiente; LL: carga baja; ML: carga moderada; SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada

5.3.6. Evaluación del posible sesgo

Se realizó una interpretación visual de la gráfica de embudo para evaluar el posible sesgo. La SMD entre el tiempo de carrera previo y posterior a la intervención de los participantes del RST se consideró notablemente simétrica, lo que sugiere la ausencia de un sesgo de publicación significativo. Se obtuvieron resultados similares para la evaluación del sesgo potencial de la SMD en el tiempo de carrera post-intervención entre el grupo de RST y los atletas del grupo control.

5.4. DISCUSIÓN

El RST ha sido ampliamente utilizado para mejorar el rendimiento de esprint. Sin embargo, debido a que hay muchas variables para manipular (carga adicional, distancia, fricción, etc.) con este tipo de dispositivo, se ha generado una gran controversia, tanto dentro de la comunidad científica como en el propio campo del entrenamiento, con respecto a cuál sería el protocolo de entrenamiento óptimo. Por ello, el objetivo principal de esta revisión sistemática con meta-análisis fue determinar si el RST mejora de manera efectiva el rendimiento de esprint, tanto en su fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad. En segundo lugar, intentamos establecer qué variables están asociadas con las mayores mejoras inducidas por el RST. El principal hallazgo del presente análisis es que el RST mejora el rendimiento de esprint, principalmente en su fase de aceleración temprana. Sin embargo, su efecto es *trivial* o *small* en el caso de la fase de máxima velocidad o en esprints de distancias superiores a 20 m. Además, no se observó ningún beneficio adicional cuando se comparó el RST con las condiciones de URS. Además, se determinó que la magnitud de su efecto sobre el rendimiento de esprint está relacionada con la población seleccionada y/o las características del entrenamiento.

5.4.1. Fase de aceleración

Como se menciona en la Sección 5.1, el RST es un método apropiado para mejorar la fase de aceleración temprana del esprint (aquí definida de 0-10 m), con un efecto *moderate* y significativo. Sin embargo, no es más efectivo que realizar el

mismo entrenamiento de esprint sin sobrecarga. La explicación de estos resultados es que la mayoría de los estudios utilizan cargas cercanas al BM del atleta, lo que hace que las diferencias en la carga sean muy pequeñas. Este hecho ha llevado a algunos investigadores (105, 125) a pensar que pueden necesitarse cargas más pesadas para que las mejoras sean significativamente mayores con respecto a cuándo se usan cargas más bajas. Sin embargo, dado el escaso número de estudios que utilizan cargas superiores al 20% del BM, el efecto es similar (0.61 *versus* 0.63, respectivamente), y el efecto pre-post no es significativo para las cargas altas. Este hallazgo puede explicarse por algunas de las principales características que hacen que el ser humano pueda correr a gran velocidad, tales como las propiedades mecánicas musculares (es decir, la capacidad para el uso adecuado de los elementos elásticos, tanto en serie como en paralelo), considerando aquí el SSC, la RFD, así como el reflejo H. Está claro que tanto el SSC como el reflejo H se pueden desarrollar en situaciones donde se replican los patrones específicos de movimiento y se da el principio de especificidad de la carga (127). Por lo tanto, un exceso de carga puede limitar el desarrollo del SSC y, en menor grado, el acoplamiento del reflejo H, a pesar de los intentos del atleta por mantener el patrón de movimiento específico. Por otro lado, se ha observado que el músculo funciona casi isométricamente durante la carrera de esprint (128, 129), lo que permite un mayor alargamiento del tendón a medida que aumenta la intensidad de carga (130) y, por tanto, que el tendón actúe como amplificador de potencia cuando recobra a velocidades muy altas (131, 132). Por lo tanto, si tenemos en cuenta que las demandas de los tendones dependen de la velocidad de movimiento, las adaptaciones inducidas también dependerán de la velocidad. Esto parece explicar también por qué el RST es mucho más efectivo para la fase de aceleración que para la fase de máxima velocidad, donde la velocidad de movimiento, el SSC y el reflejo H resultan clave (127). Es decir, en la fase de aceleración, el tiempo de contacto es mayor que durante la fase de máxima velocidad, como lo es también la participación de la fuerza horizontal y la mayor relación de GRF horizontales:verticales. Además, se ha sugerido que incrementos en la fuerza máxima contribuyen a una mayor probabilidad de aumentar el rendimiento de esprint en corta distancia (5 m) (133).

Una de las variables más analizadas y que ha generado la mayor discrepancia entre la comunidad científica en los últimos años, es la carga

adicional que se debe utilizar en el RST. Algunos autores (104) han demostrado que la máxima producción de potencia se da cuando se utilizan cargas próximas al 20% del BM, mientras que otros autores han sugerido que la máxima producción de potencia se puede lograr con cargas del 69-96% del BM (105). Cabe señalar que Monte y coautores (104) calcularon y examinaron la carga que maximizaba la potencia mecánica con velocistas y para un esprint completo (20 m), y analizaron el efecto sobre la cinemática de las articulaciones y los segmentos corporales. Sin embargo, Cross y coautores (105) calcularon la potencia mecánica máxima en el momento en que los participantes (atletas de deportes de equipo) alcanzaron la V_{\max} de carrera, y no calcularon el efecto de estas cargas sobre la técnica de esprint. En cualquier caso, no está claro, para este método de entrenamiento, que el entrenamiento con la carga que produce la máxima potencia mecánica sea el método más efectivo y apropiado para mejorar el rendimiento del esprint. De hecho, un estudio recientemente publicado (134), que analizó el efecto de 10 semanas de RST con “carga óptima” sólo encontró mejoras *trivial* en el rendimiento de esprint y resultados poco claros al comparar con otro grupo que realizó el mismo protocolo de RST pero con cargas ligeras (10% pérdida de velocidad respecto a la condición sin carga). Por lo tanto, se necesita más investigación al respecto.

Como se mencionó anteriormente, el presente meta-análisis observó que el efecto sobre la mejora del rendimiento fue *moderate* al comparar cargas inferiores al 20% del BM y cargas iguales o superiores al 20% del BM, sin mejoras significativas, logradas con cargas iguales o superiores al 20% del BM. Cabe señalar que solo tres grupos (103, 122, 125) utilizaron cargas iguales o superiores al 20% del BM y que estos tres grupos estaban compuestos por atletas de deportes de equipo. Por lo tanto, no se puede concluir que el uso de cargas elevadas sea más efectivo que el uso de cargas bajas. De hecho, el único estudio que utilizó cargas muy pesadas (80% del BM) (125) encontró un efecto *small* y *trivial* en el rendimiento del esprint en 5 y 20 m, respectivamente, que es similar a los encontrados en el grupo control con el mismo entrenamiento, pero sin sobrecarga. Por lo tanto, Morin y coautores (125) encontraron solo un efecto *moderate* sobre la F_0 (es decir, la fuerza a velocidad cero), o lo que sería equivalente a la fuerza teórica máxima de los participantes, pero no en V_0 (es decir, el equivalente a la velocidad teórica máxima de los jugadores), de acuerdo con el modelo propuesto

por los mismos autores (106). Como consecuencia, la propuesta de usar RST con cargas muy pesadas sólo se justificaría como un método terciario, lo que afectaría la mejora de la fuerza a velocidades bajas o nulas "simulando" el patrón de movimiento (y sólo en atletas que pueden mantenerlo). Sin embargo, está lejos de la especificidad de carga y velocidad, que son ambas decisivas en el entrenamiento de la producción máxima de potencia, como explican Cormie y coautores (56) en su revisión narrativa sobre el entrenamiento de producción de potencia máxima. Otro problema que puede ocurrir cuando se usan cargas excesivamente altas es que ni el SSC ni el reflejo H se activen adecuadamente. De hecho, las actividades de entrenamiento destinadas a mejorar el rendimiento del SSC deben cumplir dos criterios fundamentales (31, 135-138): (1) involucrar movimientos hábiles y multiarticulares que transmitan fuerzas a través de la cadena cinética y exploten mecanismos elásticos-reflexivos; y (2) estructurarse alrededor de sesiones de trabajo breves o bloques separados por períodos de descanso frecuentes para controlar la fatiga y enfatizar la calidad y técnica del trabajo sobre la cantidad.

Otro punto a considerar es que la exposición crónica a los movimientos que provocan el SSC puede aumentar la rigidez o *stiffness* muscular, que es una ventaja fisiológica potencial para la capacidad de esprint (139). Un desarrollo óptimo de la rigidez mecánica en la pierna tiene una gran influencia positiva en diversas variables atléticas, incluyendo la RFD, el almacenamiento y utilización de energía elástica y, por lo tanto, el SSC y la cinemática de esprint (es decir, tiempo de contacto, la amplitud y frecuencia de zancada, etc.) (140). Sin embargo, sólo Alcaraz y coautores (69) analizaron los efectos del RST sobre la rigidez o *stiffness*, y encontraron una ligera reducción no significativa tras un período de entrenamiento de 4 semanas (con cargas bajas). Sin embargo, este estudio observó que el grupo de URS experimentó una mejora en la rigidez o *stiffness* que se acerca a la significación, sugiriendo que el entrenamiento que respeta el principio de especificidad puede tener un efecto positivo sobre una de las variables más importantes en el esprint (es decir, rigidez o *stiffness*), mientras que aumentar la carga puede tener el efecto opuesto. Dados estos hallazgos y las recomendaciones basadas en un enfoque de métodos mixtos en el que se utilizan una amplia variedad de cargas y tipos de ejercicio de forma periódica para optimizar la producción de potencia, el entrenamiento con cargas elevadas podría ser una

alternativa al entrenamiento de resistencia tradicional. De este modo, al usar el RST con cargas pesadas para mejorar la fuerza máxima, los atletas entrenan -en cierta medida- replicando los patrones de movimiento del esprint. Sin embargo, cuando el objetivo es trabajar en el área de la curva fuerza-velocidad cercana a las demandas de la competición, el RST debe realizarse con cargas ligeras para desarrollar todos los mecanismos involucrados en esta situación, como son la RFD, el SSC, el reflejo Hoffmann o *H reflex* y la rigidez o *stiffness* de la pierna.

Con respecto a las características de la población, sólo se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de los participantes, siendo el efecto *moderate* para los participantes recreacionalmente activos (ES = 0.75) y entrenados (ES = 0.84) pero *small* para los participantes altamente entrenados (ES = 0.30). La explicación de estos resultados radica en el hecho de que los atletas altamente entrenados tienen un margen de mejora menor que los atletas recreacionalmente activos o entrenados cuando se aplica cualquier protocolo de entrenamiento (141). Por otro lado, se ha observado que, cuando se aplica un RST para mejorar la capacidad de aceleración, el efecto es *moderate* en atletas de deportes de equipo (ES = 0.66) pero *small* en atletas de deportes individuales (ES = 0.23). Es necesario considerar, en este caso, que sólo se incluyó un estudio (124) que analizó los efectos del RST en velocistas y saltadores de nivel nacional. Por lo tanto, se necesitan más estudios en este tipo de población, ya que el RST se usa regularmente en el diseño de planes de entrenamiento en atletismo, especialmente en disciplinas de fuerza-velocidad (como esprints, saltos y vallas), y se necesita comprender los efectos del RST sobre el rendimiento de esprint en atletas entrenados y altamente entrenados para una programación adecuada durante la temporada. El efecto mostrado para los atletas de deportes de equipo también es estadísticamente significativo. Por lo tanto, se recomienda claramente el RST para mejorar la fase de aceleración temprana en deportes como el fútbol o el rugby, especialmente porque el esprint es la acción física más frecuente a la hora de anotar y asistir a otros jugadores para conseguir goles (20) y teniendo en cuenta que la distancia total cubierta a esprint y el número total de esprints realizados durante la competición han aumentado significativamente en los jugadores de las diferentes ligas europeas durante la última década (44).

En cuanto a las características del entrenamiento, se observó que las frecuencias semanales de entrenamiento superiores a 2 días producen un efecto

significativamente mayor que las frecuencias inferiores o iguales a 2 días por semana (ES = 1.85 *versus* 0.52). Sin embargo, estos datos deben tomarse con precaución ya que solo se incluyó un estudio (120) que había aplicado una frecuencia superior a 2 días de entrenamiento por semana (3 días por semana). Además, este estudio se realizó con estudiantes de educación física, que tenían un nivel menor de rendimiento en velocidad y, a priori, un mayor potencial de mejora que aquellos atletas que están altamente entrenados, como se señala en la sección 5.3.1. Por lo tanto, frecuencias de entrenamiento de 2-3 días por semana pueden ser óptimas para el desarrollo de la capacidad de aceleración cuando se utiliza RST. Con respecto a la duración del programa, cuatro grupos (65, 69, 76, 112) tuvieron una duración de 4-6 semanas, con un efecto *small* y no significativo, mientras que 11 grupos (77, 84, 103, 122-126) usaron duraciones de 6-10 semanas, con un efecto *moderate* significativo (ES = 0.63, $P < 0.001$). La explicación de este hallazgo puede ser que las duraciones más cortas no producen suficientes adaptaciones neuromusculares y mecánicas para tener un efecto positivo sobre el rendimiento de esprint (9). En consecuencia, al diseñar un programa para el desarrollo del rendimiento de esprint a través del RST, con base en los resultados del presente meta-análisis, se recomienda una duración mínima de 6 semanas.

Otra variable que debe considerarse al diseñar programas de entrenamiento con RST es el volumen, tanto para cada sesión como para el ciclo completo de entrenamiento (es decir, mesociclo). El volumen por sesión varió ampliamente, de 60 a 360 m. Aunque la mayoría de los grupos (diez) incluyeron volúmenes inferiores o iguales a 160 m, los volúmenes entre 160 y 360 m (cinco grupos) produjeron mayores efectos que los grupos con volúmenes por sesión más bajos (ES = 0.92 *versus* 0.46, respectivamente). De manera similar, cuando se compararon los volúmenes totales de entrenamiento, los volúmenes mayores (> 2680 m) produjeron un efecto *moderate* (ES = 0.83) en comparación con los volúmenes de 720-2680 m (ES = 0.53), aunque los efectos fueron estadísticamente significativos para ambos, tanto en el volumen por sesión como en el volumen total de entrenamiento. Por lo tanto, podemos afirmar que volúmenes ligeramente más altos, tanto por sesión como por microciclo, tienen un efecto mayor; sin embargo, no está claro si el volumen es tan importante como otras variables que se analizaron previamente.

Finalmente, con respecto a la fase de aceleración temprana, se ha observado que el efecto difiere según la superficie de rodadura utilizada. Por ejemplo, las superficies rígidas o las pistas de atletismo tienen un efecto *moderate* (ES = 0.69 y 0.64, respectivamente) y las de hierba producen un efecto *small*. Estos resultados pueden explicarse por la alta variabilidad en la fricción relacionada con los diferentes tipos de superficies (césped natural *versus* césped artificial). Dado que el coeficiente de fricción difiere mucho entre las superficies, esto afecta en gran medida la resistencia cuando se utiliza RST, como lo sugieren Linthorne y Cooper (110). Estos autores concluyeron que las diferentes superficies de velocidad provocarían diferentes grados de coeficiente de fricción.

5.4.2. Fase de máxima velocidad y esprint completo

A diferencia de los hallazgos encontrados para la fase de aceleración, el RST tiene un efecto *small* sobre el rendimiento para la fase de máxima velocidad (ES = 0.27) y/o al realizar esprints de distancias iguales o superiores a 20 m (ES = 0.36); sin embargo, en este último caso, el efecto fue significativo. Estos hallazgos pueden explicarse por el hecho de que la resistencia proveniente de la fricción entre la superficie del trineo y la superficie de contacto (pista, hierba, etc.) cuando el esprint se realiza con un trineo será diferente si el trineo está parado o en movimiento debido a la inercia del sistema. Por lo tanto, cuando se calcula la producción de potencia máxima, la potencia mecánica máxima en el esprint generalmente ocurre en los primeros pasos, y la fuerza horizontal y la potencia disminuyen en un 82% y 63%, respectivamente, desde el primer hasta el último paso cuando se usa RST sobre una distancia de 20 m (104). Por lo tanto, si el objetivo es desarrollar la máxima producción de potencia en la fase de máxima velocidad, pueden ser necesarias estrategias de entrenamiento distintas al arrastre del trineo, ya que las fuerzas verticales son predominantes durante esta fase (26, 32, 33). Quizás el entrenamiento pliométrico u otro tipo de entrenamiento resistido, como el chaleco lastrado, podría producir un mayor efecto sobre estas fases. Al analizar tanto las características de la población como el método de entrenamiento para la fase de máxima velocidad, los efectos fueron *small* o *trivial* y no significativos en todos los casos. Sin embargo, el sub-análisis para el esprint completo (≥ 20 m) indicó que, aunque los efectos aún eran *trivial* o *small* en

algunos casos, algunos eran significativos. Por ejemplo, con respecto a las características de la población, el efecto fue *small* pero significativo para atletas de edad superior a 21 años (ES = 0.37; $P = 0.04$), de sexo masculino (ES = 0.34; $P = 0.04$) y atletas de disciplinas por equipo (ES = 0.42; $P = 0.02$). Con respecto a las características de entrenamiento, el efecto fue *small* en todos los casos y significativo cuando se usaron cargas superiores al 20% del BM (ES = 0.35; $P = 0.02$), con frecuencias semanales de entrenamiento iguales o superiores a 2 días (ES = 0.35; $P = 0.02$), periodos de entrenamiento con una duración superior a 6 semanas (ES = 0.39; $P = 0.01$), volúmenes por sesión superiores a 160 m (ES = 0.53; $P = 0.03$) y volúmenes de entrenamiento total superiores a 2680 m (ES = 0.53; $P = 0.03$). Aunque este meta-análisis responde a muchas de las preguntas que se plantean en la literatura científica, todavía existe una importante falta de investigación que se centre en atletas altamente entrenados de deportes individuales como el atletismo, tanto de género masculino como femenino y de diferentes edades.

5.5. CONCLUSIONES

El RST se ha utilizado ampliamente tanto en deportes de equipo como individuales para mejorar el rendimiento de esprint. Sin embargo, hasta la fecha, no ha habido un consenso sobre si este método de entrenamiento realmente mejora el rendimiento de esprint, ya sea en la fase de aceleración o de máxima velocidad. Además, no está claro si los efectos difieren según las características de la población, o cuál es la carga de entrenamiento óptima (intensidad, volumen, etc.) para optimizar las adaptaciones. Con base en la presente revisión sistemática con meta-análisis, se puede afirmar que el RST es un método eficaz para mejorar el rendimiento de esprint, principalmente a través de la mejora de la fase de aceleración temprana.

Sin embargo, no se puede decir que este método sea más efectivo que el mismo entrenamiento sin sobrecarga. En cuanto a las características de la población, el efecto es mayor en varones, recreacionalmente activos o entrenados, siendo *small* en atletas altamente entrenados que practican deportes de equipo como el fútbol o el rugby. Finalmente, con respecto a las características del entrenamiento, la intensidad (entendida como carga adicional) no es un factor

determinante de la mejora del rendimiento de esprint, pero el volumen de entrenamiento recomendado es superior a 160 m por sesión y aproximadamente de 2680 m cuando hablamos de volumen total del ciclo de entrenamiento, con una frecuencia de entrenamiento de 2- 3 veces por semana, durante un periodo de al menos 6 semanas. Finalmente, las superficies rígidas parecen mejorar el efecto del RST sobre el rendimiento de esprint.

Con base en estos hallazgos y dadas las limitaciones de este meta-análisis, proporcionamos las siguientes respuestas a las preguntas formuladas por los entrenadores y la comunidad científica en la Sección 5:

1. ¿El RST mejora el rendimiento de esprint? Sí, pero las mejoras dependerán de la fase de entrenamiento.
2. ¿El efecto será mayor cuando se usa RST para las diferentes fases del esprint? Sí. Para la fase de aceleración temprana (≤ 10 m), habrá una reducción en el tiempo promedio de carrera del 2.3%; para la fase de máxima velocidad (≥ 15 m de carrera a máxima velocidad con una distancia de recorrido ≥ 10 m), el tiempo se reducirá en un 1.7%; y para el esprint completo (≥ 20 m), la reducción será del 1.5%. El efecto es *moderate* y significativo solo para la fase de aceleración temprana.
3. ¿El RST es más efectivo que el URS? No; no se observó diferencia entre los grupos con trineos y los grupos control (mismo entrenamiento sin trineo). Por lo tanto, el RST y el URS producirán un nivel similar de adaptación.
4. ¿Cuál es la "carga óptima" que se debe usar al aplicar RST para obtener las mayores adaptaciones de velocidad? No hay "carga óptima" para el RST, ya que dependerá del objetivo deseado. Sin embargo, cuando se utiliza RST como método secundario (es decir, se replican las demandas de velocidad en términos de patrón de movimiento, carga y velocidad) con una ligera sobrecarga adicional, la carga nunca debe ser superior al 20% del BM. Por el contrario, cuando el objetivo es mejorar la fuerza máxima, "respetando" el patrón de movimiento, cargas superiores al 20% del BM podrían ser adecuadas, siempre y cuando el atleta no modifique sustancialmente su técnica de carrera. Las cargas superiores al 20% del BM no deben usarse con atletas de bajo nivel o inexpertos en el RST.

5. ¿Debería ser diferente la carga según la fase del esprint sobre la que se quiera incidir? Sí, teniendo en cuenta que el efecto principal del RST se produce para la fase de aceleración temprana. Para la fase de máxima velocidad, en lugar de usar una carga diferente, tal vez sea conveniente utilizar otro método de entrenamiento de esprint con un componente de resistencia más vertical, como los chalecos lastrados.
6. ¿El RST tiene un efecto diferente en los atletas dependiendo de la edad? Esto no está claro. Por lo tanto, son necesarios más estudios que comparen los efectos del RST en diferentes grupos de edad para determinar si el efecto será diferente.
7. ¿El efecto será mayor si el atleta está altamente entrenado? No, de hecho, para la fase de aceleración, el efecto es significativamente mayor en atletas recreacionalmente activos y entrenados que en atletas altamente entrenados.
8. ¿Cuántos días por semana se debe aplicar el RST? Estos métodos deben aplicarse con una frecuencia de 2 a 3 días por semana, dependiendo de las exigencias y demandas de velocidad de la modalidad deportiva del atleta.
9. ¿Cuántas semanas se debe aplicar el RST? El efecto es significativamente mayor cuando el ciclo de entrenamiento tiene una duración superior a 6 semanas.
10. ¿Puede afectar la superficie a las adaptaciones sobre el rendimiento? Sí, el efecto es mayor en superficies rígidas que en césped, probablemente debido a la menor fricción que existe para una misma carga en esta superficie.

VI – ESTUDIO N° 2

CAPÍTULO VI. ESTUDIO N° 2:

UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA CONTROLAR Y MONITORIZAR LA CARGA DE ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON CHALECO LASTRADO DE ESPRINT Y SALTO EN FÚTBOL

6.1. INTRODUCCIÓN

El esprint y el salto son acciones de alta intensidad que resultan claves en el fútbol, por ejemplo, cuando se anota un gol, o a la hora de estar mejor posicionado que el rival en la disputa del balón (20). El éxito en tales acciones se ha relacionado con la capacidad del atleta para maximizar la producción de potencia (53), que está determinada por la relación fuerza-velocidad (F-V). Esta relación dicta que la cantidad de fuerza generada disminuye a medida que aumenta la velocidad de movimiento (54) y que la máxima producción de potencia (P_{\max}) se alcanza a niveles de fuerza y velocidad comprometidos (55). Por lo tanto, la P_{\max} puede mejorarse aumentando la capacidad para desarrollar altos niveles de fuerza a bajas velocidades y/o mejorando la velocidad de movimiento (56, 57). Teóricamente, el uso de movimientos a alta velocidad con cargas bajas puede afectar el área de velocidad de la curva F-V, mientras que el uso de cargas más pesadas mejora el segmento de fuerza. En este sentido, se ha demostrado que los métodos mixtos dan como resultado un mayor aumento de la P_{\max} debido a un desarrollo más completo de la curva F-V (56).

Un enfoque ampliamente utilizado y muy de moda para desarrollar la producción de potencia hoy en día es el entrenamiento con “carga óptima”, que consiste en usar la carga que produce la P_{\max} en un movimiento específico (55, 142). De hecho, se ha sugerido que el entrenamiento con “carga óptima” es efectivo para mejorar la producción de potencia (56, 57) porque proporciona un estímulo específico de carga adecuado para provocar incrementos en la P_{\max} (57). Varias investigaciones han mostrado mejoras mayores en la P_{\max} cuando se utilizó este entrenamiento en lugar de otras condiciones de carga, durante intervenciones a corto plazo que duraron de 8 a 12 semanas (56, 57). Sin embargo, la carga que maximiza la potencia en movimientos multiarticulares y específicos del deporte

difiere significativamente entre los diferentes ejercicios debido a la naturaleza del movimiento involucrado (143).

Existen diferentes métodos de entrenamiento para mejorar el rendimiento en habilidades tales como el esprint o el salto vertical (62, 69, 84, 144). Estos métodos pueden incrementar la fuerza y los niveles de potencia de los atletas en sus componentes tanto verticales como horizontales (56), según las necesidades del deporte. La mayoría de las investigaciones se han centrado en identificar cuáles son los métodos de entrenamiento más apropiados que podrían traducir las ganancias del entrenamiento de fuerza y potencia en un mayor rendimiento en los movimientos específicos del deporte (56, 65).

En cuanto al esprint, el entrenamiento resistido de esprint es uno de los métodos más utilizados porque proporciona una sobrecarga mecánica específica de los movimientos deportivos y permite al atleta reproducir los gestos técnicos con una carga externa adicional (94). Existen diferentes modalidades de entrenamiento de esprint resistido en función de los diferentes equipos o condiciones que se utilizan para agregar la resistencia externa adicional: arrastre de trineo, chaleco lastrado, paracaídas, carrera cuesta arriba o carrera sobre superficie de arena (72). La dirección del vector resultante de las GRFs, en respuesta a la fuerza aplicada por el atleta, tendrá una dirección diferente según el deporte y las condiciones en las que ocurre; por lo tanto, dependiendo de la tarea, el trabajo debe enfocarse más en las fuerzas verticales u horizontales. En este sentido, estudios recientes han analizado la mecánica del esprint en atletas de élite (26, 32) y han mostrado las manifestaciones típicas de componentes instantáneos verticales, anteroposteriores y laterales de las GRFs. Los datos mostraron que el componente vertical de GRF es mayor que el horizontal durante todo el esprint, excepto en los primeros pasos cuando el esprint comienza desde una posición estática de 4 apoyos (26, 32). Además, la GRF vertical aumenta mientras que el componente horizontal disminuye a medida que aumenta la velocidad (26, 32). En base a estos hallazgos y sabiendo que, en el fútbol, la mayoría de los esprints comienzan en movimiento (37), con el cuerpo en una posición más erguida (posición de 2 apoyos), el entrenamiento con una resistencia vertical podría ser efectivo para mejorar el rendimiento en fútbol. Además, el entrenamiento resistido con chaleco lastrado (WWT) es un método en el que la resistencia tiene un componente vertical mayor sobre el centro de masa del atleta

(145), proporcionando así un estímulo más específico para los jugadores de fútbol. Sin embargo, no hay evidencia científica al respecto, y los pocos estudios que han incluido el chaleco lastrado como dispositivo de resistencia adicional, solo han evaluado los efectos sobre la cinemática, utilizando cargas del 7% al 20% del BM (18, 70, 74, 79, 95, 96).

Con respecto al salto vertical, entre los métodos de entrenamiento de fuerza no convencionales, el WVT ha demostrado excelentes resultados, mostrando mejoras iguales o superiores al 10% con intervenciones con una duración de entre 3 y 10 semanas en atletas entrenados (95, 97, 98). Además, el uso de WVT aumentó significativamente el rendimiento en el salto vertical usando cargas de entre el 7% y el 13% del BM en comparación con el entrenamiento de potencia convencional (95, 97, 98). En el salto vertical, el atleta debe superar su peso corporal, y la fuerza resultante es completamente vertical, actuando sobre su centro de masa, donde la GRF resultante es igual al producto entre la masa del jugador y la aceleración de la gravedad (146).

Por lo tanto, el WVT puede ser un buen método de entrenamiento para el fútbol porque permite el entrenamiento multidireccional que es esencial para este deporte (147). Del mismo modo, el WVT permite a los atletas reproducir las acciones reales que se encuentran en la competición, añadiendo una carga externa cerca de su centro de masas. A pesar de la importancia dada a otros métodos de entrenamiento resistidos (por ejemplo, el arrastre de trineo) en el pasado, se conoce poco sobre la relación F-V con el chaleco lastrado. Además, sería interesante conocer la potencia mecánica producida cuando aumenta la carga, para prescribir adecuadamente el entrenamiento con "carga óptima". Por lo tanto, el primer objetivo de este estudio fue desarrollar dos ecuaciones de regresión que describieran con precisión la relación entre las cargas del chaleco lastrado y los indicadores de rendimiento en el esprint (es decir, la V_{max}) y el salto vertical (es decir, la H_{max}). Además, este estudio tuvo como objetivo describir cómo afecta el incremento de la carga sobre las variables espacio-temporales y el desarrollo de la potencia en jugadores de fútbol y determinar la "carga óptima" tanto en el esprint como en el salto.

6.2. MÉTODOS

6.2.1. Enfoque experimental del problema

Se utilizó un diseño de estudio transversal. Las pruebas se realizaron a mitad de la temporada competitiva, después de dos días de descanso, para evitar posibles interferencias causadas por la fatiga. Todas las medidas fueron tomadas en una sola sesión de prueba. Los participantes realizaron 8 sprints de 30 m y 6 saltos con contramovimiento (CMJ) mientras llevaban puesto un chaleco lastrado (Kettler, Alemania) con diferentes cargas para determinar los cambios sobre las variables espacio-temporales. Los sprints se realizaron sin carga y utilizando un chaleco lastrado con cargas adicionales correspondiente al 5, 10 y 15% del BM de cada participante (2 intentos por carga). Las mismas cargas se utilizaron para los CMJ hasta el 10% del BM. Estas cargas se seleccionaron en base a los pocos estudios que incluyeron el chaleco lastrado como dispositivo de resistencia adicional tanto para el sprint (18, 70, 74, 79, 95, 96) como para el salto (95, 97, 98).

6.2.2. Participantes

Jugadores de fútbol semiprofesionales sanos, que estaban compitiendo en divisiones nacionales españolas, fueron reclutados para este estudio. Todos los jugadores tenían experiencia previa en el WVT. Veinticinco participantes realizaron la prueba de sprint (altura: 1.79 ± 0.05 m, y peso: 72.2 ± 6.7 kg), mientras que un total de 46 jugadores completaron la prueba de salto (altura: 1.78 ± 0.06 m, y peso: 72.3 ± 7.2 kg). El entrenamiento normal del equipo y el calendario de competición, que constaba de al menos cuatro sesiones de entrenamiento y un partido por semana, se mantuvieron durante todo el período de investigación. Sólo los jugadores que no tuvieron lesiones recientes o que no presentaban ninguna condición médica que impidiera el esfuerzo máximo se incluyeron en el estudio. El Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia, en conformidad con la Declaración de Helsinki, aprobó el estudio. Los participantes fueron informados del protocolo y los procedimientos del estudio antes de su participación, y se obtuvo su consentimiento por escrito previa a su participación.

6.2.3. Procedimientos

Los sprints se completaron en un campo de fútbol de césped artificial de 3G al aire libre y los CMJs se realizaron sobre una superficie rígida en el mismo centro deportivo. Los participantes usaron su propia indumentaria para realizar las pruebas: calzado deportivo para saltar y botas de fútbol para el sprint. Antes de comenzar las pruebas, se midieron la talla y el peso de los atletas para determinar las cargas relativas necesarias para el chaleco lastrado (5, 10 y 15% del BM). Todos los participantes realizaron un calentamiento específico estandarizado, que consistió en: 8 min de carrera a baja intensidad, 5 minutos de estiramientos dinámicos activos, 3-4 CMJ submáximos y 3-4 sprints submáximos de más de 30 m, aumentando progresivamente la intensidad hasta V_{\max} y con un descanso de 90 s entre los ensayos. Después, todos los jugadores realizaron, en primer lugar, la prueba de CMJ y, tras 10 minutos de descanso, completaron la prueba de velocidad. Se realizaron dos ensayos para cada carga, y el orden de los ensayos se asignó al azar para cada participante.

Test de Sprint. Los jugadores realizaron un total de 8 sprints de 30 m (2 intentos por cada condición de carga). Se dejó un período de descanso de 5 minutos entre los ensayos para minimizar los posibles efectos de la fatiga sobre el rendimiento. Se alentó a los participantes a realizar cada intento lo más rápido posible. Un radar (Stalker ATS II, Applied Concepts, TX, EEUU), colocado sobre un trípode 5 m detrás de la línea de inicio y a una altura de 1 m (aproximadamente a la altura del centro de masa de los sujetos), se usó para medir la velocidad instantánea durante el sprint utilizando una frecuencia de muestreo de 47 Hz. Además, el tiempo de carrera se midió con fotocélulas inalámbricas del Sistema WITTY de Microgate (Microgate, Bolzano, Italia) que se colocaron en las líneas de inicio y final. Sólo aquellos sprints donde la curva de velocidad alcanzó una zona *plateau* fueron considerados, lo que indica que se alcanzó V_{\max} . El mejor tiempo de sprint para cada condición de carga se seleccionó para el análisis, y la V_{\max} se usó para obtener la ecuación de sprint.

La potencia mecánica horizontal de sprint se calculó utilizando un método de cálculo válido y fiable basado en un análisis macroscópico de la dinámica inversa del movimiento del centro de masas (106). Los datos crudos de velocidad-tiempo se ajustaron con una función exponencial para obtener la velocidad teórica

instantánea, que luego se derivó para calcular la GRF anteroposterior u horizontal neta y la potencia mecánica horizontal (P_H) usando las ecuaciones propuestas por Samozino y coautores (106) La carga adicional se tuvo en cuenta para determinar estas variables. La P_H se presenta con relación a la masa total del sistema (es decir, BM más la carga extra del chaleco lastrado). Este modelo presenta un coeficiente de variación (CV) de 2.93% y 1.87% para la fuerza horizontal máxima y P_H , respectivamente (106).

Test de salto con contramovimiento. Los CMJs se evaluaron utilizando una plataforma de fuerza portable (Kistler 9286BA, Winterthur, Suiza), con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Se realizaron un total de 6 intentos máximos (2 intentos para cada condición de carga), con 90 s de descanso entre ellos. Los jugadores se posicionaron sobre el centro de la plataforma de fuerzas con los pies separados a la anchura de los hombros, las manos colocadas sobre las caderas durante toda la ejecución del salto y autoseleccionaron la profundidad del contramovimiento (es decir, el ángulo de flexión de la rodilla). Se les animó a saltar lo más alto posible con un contramovimiento rápido e intentando aterrizar cerca del punto de despegue (148). La H_{max} y la P_{max} del CMJ se calcularon utilizando la velocidad de despegue mediante una macro personalizada para el software RStudio (R-Tools Technology Inc., Boston, MA, EEUU). Se seleccionó el salto más alto para cada carga y se usó para calcular la ecuación de salto. La prueba de CMJ se caracteriza por una baja variabilidad entre los ensayos (CV = 3.0%) (149) y alta confiabilidad test-retest (coeficiente de correlación intraclase (ICC) = 0.98) (150).

6.2.4. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS 21.0 para Windows. Los estadísticos descriptivos resumieron todas las características demográficas y los resultados. Los datos se presentan como media \pm SD. Todos los datos se transformaron logarítmicamente para el análisis con el fin de reducir el sesgo que surge del error de no uniformidad y luego se analizaron para una significación práctica utilizando inferencias basadas en la magnitud (120). El tamaño del efecto (ES, límite de confianza al 90%) en las variables seleccionadas se calculó utilizando la SD. Los valores umbral para la estadística con ES de

Cohen fueron: >0.2 , *small*; >0.6 , *moderate*; >1.2 , *large*; >2.0 , *very large*; y >4.0 , *nearly perfect* (120). La posibilidad de que cualquier diferencia sea *greater*/mejor (es decir, mayor que el cambio más pequeño que merezca la pena [0.2 multiplicado por la SD entre sujetos, basado en el principio del ES d de Cohen]) o similar o *poorer*/peor que el otro grupo, fue calculado posteriormente (120). Las probabilidades cuantitativas de un efecto *greater*/mejor o *poorer*/peor se evaluaron cualitativamente de la siguiente manera: $<1\%$, *almost certainly not*; $1-5\%$, *very unlikely*; $5-25\%$, *unlikely*; $25-75\%$, *possible*; $75-95\%$, *likely*; $95-99\%$, *very likely*; and $>99\%$, *almost certainly*. Si la probabilidad de tener *greater*/mejor o *poorer*/peor era $>5\%$, la verdadera diferencia se consideró poco clara o *unclear* (47). Si la posibilidad fue $>75\%$, los datos se consideraron sustancialmente diferentes.

6.3. RESULTADOS

Todas las velocidades y alturas de salto se convirtieron a porcentaje de la V_{\max} sobre 30 m y de la H_{\max} , respectivamente. Estos datos se graficaron uno frente al otro para producir una ecuación de regresión para el esprint (Ecuación 1, Figura 11a) y otra para el salto (Ecuación 2, Figura 11b). El valor R^2 fue 0.99 para las ecuaciones de esprint y CMJ. Las ecuaciones de regresión obtenidas se muestran a continuación:

$$\% BM = -2.0762 \cdot \%V_{\max} + 207.99 \text{ [Ecuación 1]}$$

$$\% BM = -0.7156 \cdot \%H_{\max} + 71.588 \text{ [Ecuación 2]}$$

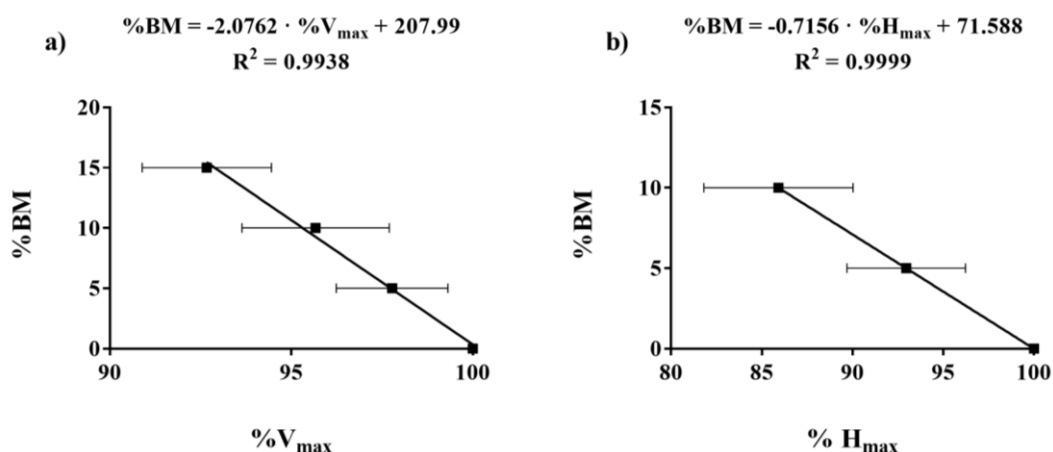


Figura 11. Efecto del aumento de la carga sobre (a) la V_{\max} de esprint y (b) la H_{\max} del salto CMJ.

Las diferencias relativas y los resultados cualitativos resultantes de los análisis entre cargas se muestran en la Tabla 6 y la comparación del efecto entre las diferentes pruebas y condiciones de carga externa para todas las variables medidas se ilustra en la Figura 2. Como se esperaba, hubo una reducción en la V_{\max} durante la prueba de esprint de 30 m a medida que aumentaba la carga. Los datos de esprint mostraron una V_{\max} casi ciertamente más baja con un 15% del BM comparado con un 0% (ES = 1.26), con un 10% comparado con un 0% del BM (ES = 0.81) y cuando un 15% se comparó con un 5% del BM (ES=0.90). También se obtuvo una V_{\max} casi ciertamente más baja con el 5% del BM con respecto al 0% del BM (ES = 0.41), con el 10% del BM en comparación con el 5% del BM (ES = 0.41) y al comparar el 15% con el 10% del BM (ES = 0.52) (Figura 12a). Los datos de P_H mostraron un rendimiento posiblemente menor con un 5% del BM en comparación con un 0% del BM (ES = 0.32), mientras que el resultado cualitativo fue poco claro o *unclear* cuando se compararon el resto de cargas (Figura 12b). Estos resultados no clarifican cuál es la “carga óptima” para el esprint, aunque el 0% del BM es la carga que produjo la P_{\max} más elevada.

Tabla 6. Diferencias relativas y resultados cualitativos entre diferentes cargas utilizadas según porcentajes del peso corporal.

	Media \pm SD	Comparativa (% BM)	Cambios (%) (90% CL)	Probabilidad (%)	Evaluación Cualitativa
V_{max}	0%: 8.41 \pm 0.47	0% vs. 5%	-2.2 (-2.8; -1.7)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
	5%: 8.22 \pm 0.44	0% vs. 10%	-4.3 (-5.0; -3.6)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
	10%: 8.04 \pm 0.43	0% vs. 15%	-7.3 (-8.0; -6.7)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
	15%: 7.80 \pm 0.48	5% vs. 10%	-2.2 (-2.6; -1.7)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
		5% vs. 15%	-5.2 (-5.8; -4.6)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
		10% vs. 15%	-3.1 (-3.6; -2.6)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
P_H	0%: 13.65 \pm 1.95	0% vs. 5%	-4.3 (-9.9; 1.6)	2/32/66%	Possibly Poorer
	5%: 13.04 \pm 1.75	0% vs. 10%	-2.0 (-7.8; 4.1)	8/52/40%	Unclear
	10%: 13.50 \pm 2.68	0% vs. 15%	-4.6 (-11.9; 3.3)	6/30/64%	Unclear
	15%: 13.21 \pm 3.01	5% vs. 10%	2.4 (-5.0; 10.4)	47/40/13%	Unclear
		5% vs. 15%	-0.3 (-7.6; 7.6)	25/45/30%	Unclear
		10% vs. 15%	-2.6 (-10.0; 5.4)	8/55/37%	Unclear
H_{max}	0%: 34.10 \pm 4.30	0% vs. 5%	-7.2 (-8.0; -6.4)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
	5%: 31.70 \pm 4.47	0% vs. 10%	-14.3 (-15.3; -13.3)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
	10%: 29.27 \pm 4.30	5% vs. 10%	-7.6 (-8.6; -6.7)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
P_{max}	0%: 54.25 \pm 5.05	0% vs. 5%	-5.9 (-6.8; -5.0)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
	5%: 51.12 \pm 5.59	0% vs. 10%	-10.5 (-11.4; -9.6)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer
	10%: 48.61 \pm 5.26	5% vs. 10%	-4.9 (-5.7; -4.0)	0/0/100%	Almost Certainly Poorer

V_{max} = velocidad máxima de sprint; P_H = potencia máxima horizontal sprint; H_{max} = altura máxima de CMJ; P_{max} = potencia máxima CMJ; 0% = sin carga adicional; 5%: carga extra de 5% BM; 10%: carga extra de 10% BM; 15%: carga extra de 15% BM; CL = límites de confianza; %Diferencia = diferencia porcentual; Probabilidad = probabilidad porcentual de tener valores mejores / similares / peores.

Con respecto a la prueba de salto, la condición descargada (0% del BM) mostró una H_{\max} más alta que con cargas adicionales del 5% ($ES = 0.54$) y 10% del BM ($ES = 1.11$). Además, una carga adicional del 5% del BM mostró una mayor H_{\max} que el 10% del BM ($ES = 0.55$) (Figura 12c). Los datos de P_{\max} mostraron un rendimiento casi ciertamente peor con el 10% del BM en comparación con el 0% del BM ($ES = 1.08$), con el 5% en comparación con el 0% del BM ($ES = 0.58$) y cuando el 10% del BM se comparó con el 5% del BM ($ES = 0.46$) (Figura 12d). Estos resultados parecen indicar que la “carga óptima” en el caso del salto se encuentra cerca del propio peso corporal.

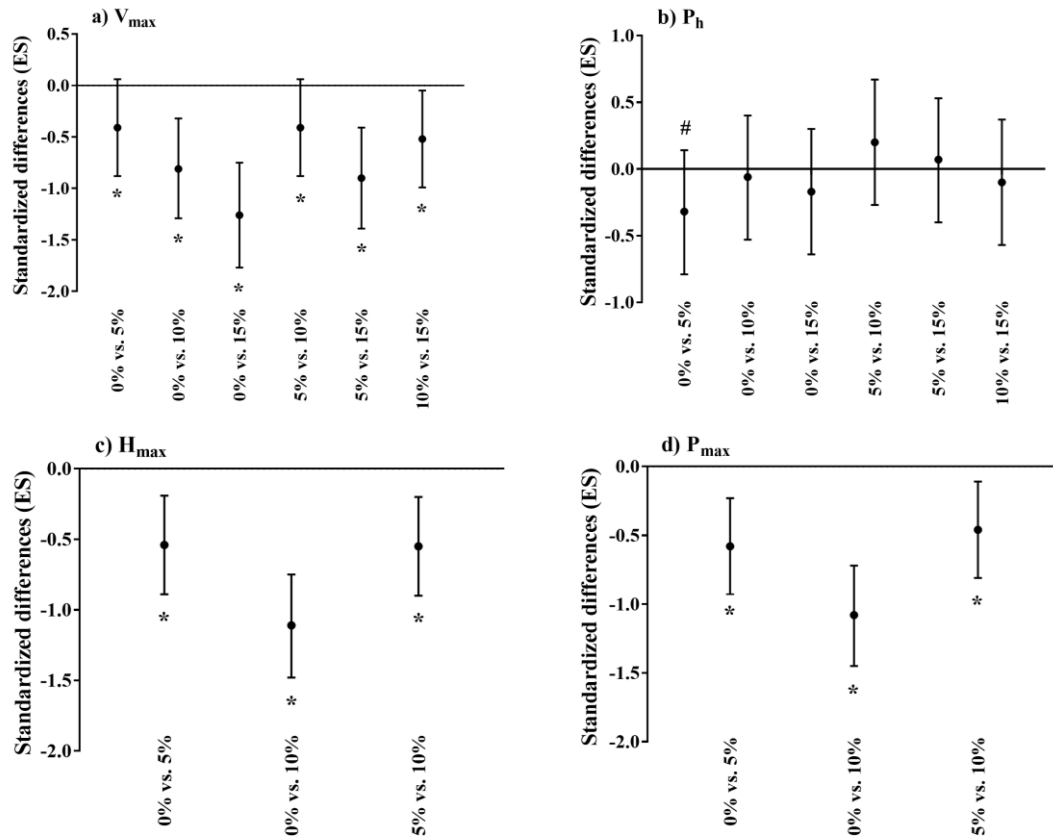


Figura 12. Comparación del tamaño del efecto para (A) la V_{\max} alcanzada durante la prueba de esprint de 30 m entre las diferentes condiciones de carga utilizadas, (B) la P_h máxima desarrollada durante la prueba de esprint de 30 m, (C) la H_{\max} alcanzada en el test de salto CMJ y (D) la P_{\max} desarrollada durante el test de salto CMJ. Las barras indican el grado de incertidumbre en los cambios medios reales con intervalos de confianza al 90%. Evaluación cualitativa: # = *possibly*; * = *almost certainly*.

6.4. DISCUSIÓN

El WVT es una modalidad de entrenamiento resistido muy popular dirigida al desarrollo de la fuerza y la potencia del tren inferior en muchos deportes en los que el esprint y el salto son factores clave para el rendimiento, como el fútbol. Sin embargo, el número de estudios sobre este tema es limitado, ya que la mayoría del conocimiento en esta área se ha obtenido de la experiencia práctica de los entrenadores y profesionales del entrenamiento y la preparación física. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio en desarrollar dos ecuaciones de regresión que describan con precisión la relación entre la carga del chaleco lastrado y la V_{\max} en un esprint de 30 m y la H_{\max} de un CMJ en jugadores de fútbol semiprofesionales. Además, esta investigación muestra la relación carga-velocidad para el entrenamiento resistido de esprint y la relación carga-altura para el WVT de salto. Además, se examinaron la producción de potencia mecánica y los efectos de las diferentes cargas sobre la V_{\max} y la H_{\max} para esprints y saltos, respectivamente. Finalmente, también se obtuvo la “carga óptima” para maximizar la producción de potencia en jugadores de fútbol, bajo las condiciones descritas en este estudio.

Las ecuaciones de regresión mostraron una relación lineal inversa significativa entre la carga y la velocidad de carrera y entre la carga y la altura del salto ($p \leq 0.001$, Figuras 1a y 1b), respectivamente. Estas ecuaciones pueden ayudar a los entrenadores y profesionales de la preparación física a establecer la carga para el WVT, de acuerdo con las características individuales de cada atleta. Además, estas herramientas permiten determinar las diferentes cargas para desarrollar cada una de las secciones de la curva F-V, de forma individual y en función de los objetivos perseguidos o el momento concreto de la temporada. En el fútbol, los jugadores tienen que producir potencia tanto sin carga (actividades como correr o saltar, donde el atleta principalmente supera la inercia de su propio cuerpo) como en condiciones de carga (actividades como choques en deportes de contacto o COD donde el jugador debe aplicar incluso mayores fuerzas para cambiar la inercia del cuerpo) (151). El desarrollo de la producción de potencia a lo largo de todo el perfil F-V puede ser más beneficioso debido a las diferentes demandas que se le exigen a un atleta durante la competición (151). Por lo tanto, ambas ecuaciones se pueden usar para controlar y prescribir la carga de trabajo y para cuantificar la carga del WVT en función del peso corporal del atleta.

En cuanto a los sprints, no hay muchos estudios que hayan analizado los efectos del WVT, y los que existen, sólo evaluaron los efectos sobre la cinemática (18, 70, 74, 79). Por lo tanto, bajo nuestro conocimiento, este es el primer estudio que investigó la relación carga-velocidad para el WVT de sprints. Sin embargo, dos estudios previos determinaron esta relación para el RST (73, 101). Lockie y coautores (101) presentaron una ecuación para calcular la carga adicional durante la fase de aceleración en atletas de deportes de equipo, y Alcaraz y coautores (73) durante la fase de máxima velocidad en velocistas. Sin embargo, estas ecuaciones no se pueden comparar con la obtenida en este estudio, ya que, la modalidad de entrenamiento resistido utilizada fue diferente, por lo tanto, las características y condiciones mecánicas también (por ejemplo, inercia, dirección del vector de carga, la fricción, la proximidad del dispositivo de resistencia con el centro de masa del atleta). Las ecuaciones presentadas en estos estudios previos (73, 101) mostraron la misma relación carga-velocidad encontrada aquí; es decir, cuando la carga aumentaba, la V_{max} disminuía. Con respecto a la "carga óptima", los resultados de este estudio no clarifican qué carga podría ser más efectiva para maximizar la P_H y se requiere más investigación. Un estudio de Monte y coautores (104), con velocistas, indicó que el 20% del BM era la "carga óptima", mientras que otros estudios (73, 101) indicaron cargas de alrededor del 9% y 13% del BM. Sin embargo, se debe tener precaución al comparar los resultados porque en los estudios de Lockie y coautores (101) y Alcaraz y coautores (73) el concepto de "carga óptima" era diferente, ya que, se consideraba aquella carga que causaba un detrimento de no más del 10% de la V_{max} en condiciones de descarga. Por el contrario, un estudio reciente de Cross y coautores (105) sugirieron que las cargas más pesadas, entre 69-96% del BM, son más adecuadas para maximizar la producción de potencia con arrastre de trineo, dependiendo de las condiciones de fricción.

El RST y su influencia sobre la capacidad de sprint ha sido, y sigue siendo, uno de los temas de entrenamiento de sprints resistidos más estudiados (69, 70, 84, 104, 105). Sin embargo, según las características del sprint específicas del fútbol y las acciones clave, el RST tiene algunas limitaciones que podrían resolverse con el uso de dispositivos diferentes, como el chaleco lastrado. Por ejemplo, el RST no permite COD ni proporciona un estímulo instantáneo sobre las acciones de desaceleración. Por lo tanto, el WVT podría ser un método alternativo

en el fútbol por dos razones. Primero, porque este método permite sobrecargar ejercicios de COD y desaceleración. Segundo, como la resistencia en el WVT tiene un componente vertical mayor (145), proporcionaría un estímulo más específico para los jugadores de fútbol, ya que la mayoría de los sprints son lanzados (37) y está bien documentado que la GRF vertical aumenta mientras que la GRF horizontal disminuye, a medida que aumenta la velocidad (26, 32). Por lo tanto, la combinación de diferentes modalidades de entrenamiento resistido podría ser la solución ideal para el fútbol.

Con respecto al salto vertical, los resultados indican que, cuando la carga aumenta, la H_{max} y la P_{max} disminuyen. Por lo tanto, la “carga óptima” está cerca del propio peso corporal del jugador para el WVT. Los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos en estudios previos que mostraron la “carga óptima” más cerca del peso corporal del atleta usando cargas asistidas y resistidas (152-155) y, por tanto, apoyan la idea de que el sistema muscular del tren inferior del cuerpo humano podría estar diseñada para producir la P_{max} en tales condiciones durante movimientos rápidos (152).

Aunque estos resultados determinaron que la “carga óptima” en ambos ejercicios fue cercana al 0% del BM, debemos considerar que ésta puede cambiar a lo largo de la temporada. Por lo tanto, es importante desarrollar todas las secciones del espectro F-V, centrándose en cada zona de la curva, dependiendo del periodo del año (55). Tradicionalmente, en el fútbol, los entrenadores y preparadores físicos prescriben cargas más pesadas durante períodos fuera de temporada o la pretemporada para mejorar la sección de fuerza de la curva F-V y para maximizar la fuerza muscular en general. En la última parte de la pretemporada y durante la fase competitiva, se usan generalmente movimientos a alta velocidad para mejorar el área de velocidad (56, 58). Esto enfatiza la importancia de desarrollar toda la curva desde la sección de fuerza hasta el segmento de velocidad (58).

La dirección del vector fuerza de la resistencia añadida durante el entrenamiento es otro aspecto clave que los entrenadores y preparadores físicos deben considerar al aplicar métodos de entrenamiento resistido con sus atletas. Particularmente en el fútbol, donde tanto las fuerzas horizontales como las verticales son importantes, el programa ideal debe combinar ejercicios que incluyan resistencias orientadas tanto horizontal como verticalmente,

dependiendo de los objetivos perseguidos en cada momento de la temporada. Por ejemplo, el salto vertical debe ser entrenado con cargas verticales, mientras que el entrenamiento de velocidad debe combinar la carga horizontal y vertical. Está bien establecido que, en el esprint, las fuerzas horizontales son más altas durante los primeros pasos y las fuerzas verticales en el resto (26, 32), ya que los atletas deben superar siempre la fuerza de la gravedad.

La principal limitación de este estudio es que las pruebas sólo se realizaron una vez para cada carga y no podemos excluir que esto haya tenido una influencia en los resultados. Se necesitan estudios futuros para aclarar cuál es la "carga óptima" en esprint y determinar la potencia resultante cuando se usa WVT. Además, sería de gran interés investigar el efecto del WVT sobre la mecánica del movimiento específica del fútbol (es decir, COD, saltos, esprints, etc.). Además, existe la necesidad de determinar si una intervención con WVT es más adecuada que otros métodos para mejorar la velocidad, el salto y el rendimiento de la habilidad para cambiar de dirección en jugadores de fútbol. Los datos no publicados de un estudio piloto realizado en nuestro centro de investigación sugirieron que la P_H se logró a distancias más cortas, durante la fase de aceleración, cuando se usa chaleco lastrado en comparación con otros equipos, como el arrastre de trineo o el paracaídas.

6.5. APLICACIONES PRÁCTICAS

Este estudio presenta nuevas herramientas para los entrenadores y preparadores físicos, para controlar y prescribir la carga durante el WVT basado en la V_{max} y la H_{max} . Las dos ecuaciones son altamente prácticas y permiten a los entrenadores y preparadores físicos calcular fácilmente la carga para el WVT en los ejercicios de esprint y salto en jugadores de fútbol.

Las tablas 7 y 8 muestran valores de referencia para el WVT usando el porcentaje del BM para esprint y salto vertical, respectivamente. Estos pueden servir como punto de partida cuando los entrenadores y preparadores físicos desean prescribir el entrenamiento en función de la pérdida de velocidad o altura, así como para elegir la carga adecuada del chaleco lastrado para cada jugador (es decir, jugadores de fútbol semiprofesionales). Por ejemplo, si un jugador de 70 kg

quiere trabajar al 90% de su V_{\max} y H_{\max} , se deben usar cargas de 14.8 kg y 5.0 kg, respectivamente.

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la “carga óptima” es poco clara o *unclear* para el sprint y cercana al 0% del propio peso corporal para el salto. Sin embargo, debemos tener en cuenta que ésta puede ser diferente según el momento de la temporada y que dependerá del nivel de fuerza del atleta.

Tabla 7. Carga requerida para el WVT de sprint, dependiendo de la BM individual.

BM (kg)	% V_{\max}			
	90% kg	92.5% kg	95% kg	97.5% Kg
100	21.1	15.9	10.8	5.6
95	20.1	15.1	10.2	5.3
90	19.0	14.3	9.7	5.0
85	18.0	13.6	9.1	4.7
80	16.9	12.8	8.6	4.4
75	15.8	12.0	8.1	4.2
70	14.8	11.2	7.5	3.9
65	13.7	10.4	7.0	3.6
60	12.7	9.6	6.5	3.3
55	11.6	8.8	5.9	3.1
50	10.6	8.0	5.4	2.8
%BM	~ 21.1%	~ 15.9%	~ 10.8%	~ 5.6%

BM = peso corporal; %BM = porcentaje de peso corporal; V_{\max} = velocidad máxima de sprint.

Tabla 8. Carga requerida para el WVT de salto vertical, dependiendo de la BM individual.

BM (kg)	% H_{\max}			
	90% kg	92.5% kg	95% kg	97.5% kg
100	7.2	5.4	3.6	1.8
95	6.8	5.1	3.4	1.7
90	6.5	4.9	3.2	1.6
85	6.1	4.6	3.1	1.5
80	5.7	4.3	2.9	1.5
75	5.4	4.0	2.7	1.4
70	5.0	3.8	2.5	1.3
65	4.7	3.5	2.3	1.2
60	4.3	3.2	2.2	1.1
55	4.0	3.0	2.0	1.0
50	3.6	2.7	1.8	0.9
%BM	~ 7.2%	~ 5.4%	~ 3.6%	~ 1.8%

BM = peso corporal; %BM = porcentaje de peso corporal; H_{\max} = altura máxima CMJ.

VII – ESTUDIO N° 3

CAPÍTULO VII. ESTUDIO N° 3

PERFIL FUERZA-VELOCIDAD-POTENCIA DURANTE EL ENTRENAMIENTO CON CHALECO LASTRADO EN FÚTBOL

7.1. INTRODUCCIÓN

El fútbol es un deporte de equipo en el que el rendimiento depende tanto de las habilidades individuales como de la interacción colectiva entre los jugadores. Las habilidades tácticas y técnicas se consideran los principales factores que influyen en el resultado final de un partido. Sin embargo, el desarrollo de las capacidades físicas no debe pasarse por alto a la hora de desarrollar jugadores de alto nivel, más aún, considerando que las evidencias más recientes han demostrado que los jugadores profesionales se están volviendo cada vez más rápidos (5, 6). Algunos estudios han informado de que tanto la aceleración como la V_{max} permiten distinguir entre jugadores de diferente nivel (114). Además, un estudio reciente de Faude y coautores (20) observaron que el esprint en línea recta era la acción más frecuente en situaciones de gol tanto para el jugador que anotó como para el compañero que le asistió. Una pequeña diferencia de 0.04 a 0.06 segundos en un esprint de 20 m puede ser suficiente para salir vencedor en una disputa de 1 contra 1, driblar a un oponente o defender un ataque del rival con éxito (48). Por lo tanto, se puede afirmar que la capacidad de esprint es esencial en la competición en el fútbol (20) y, en consecuencia, resulta de gran interés la mejor comprensión de los efectos que pueden provocar diferentes protocolos de entrenamiento de velocidad.

Con base en el conocimiento científico actual, parece evidente que la fuerza relativa máxima, la RFD y la capacidad de producir la máxima potencia son los atributos físicos más importantes para incrementar el rendimiento del esprint (58). Un enfoque ampliamente utilizado para desarrollar la producción de potencia se denomina entrenamiento de *optimal load* o “carga óptima”, que consiste en utilizar la carga que permite generar la P_{max} en un movimiento específico (56). Se ha sugerido que este entrenamiento es efectivo para mejorar la producción de potencia (56, 57), ya que proporciona un estímulo específico

óptimo de carga para aumentar la P_{\max} (57) y, por lo tanto, el rendimiento del esprint. Sin embargo, la carga que maximiza la producción de potencia en movimientos multiarticulares, específicos del deporte, difiere significativamente entre los ejercicios, dependiendo de la naturaleza del movimiento involucrado, las condiciones mecánicas de las diferentes modalidades utilizadas y el momento de la temporada (56). En un enfoque diferente, Haff y Nimphius (58) sugirieron la utilización de métodos mixtos que consisten en el uso de una amplia gama de cargas y tipos de ejercicio prescritos de forma periodizada para optimizar la potencia mecánica. Se ha demostrado que este enfoque da como resultado un mayor incremento de la P_{\max} y permite un desarrollo más completo de la relación F-V (56). En este contexto, los protocolos de entrenamiento de esprint asistidos y resistidos, que han sido en gran medida empleados para mejorar el rendimiento en el esprint y la aceleración (70), juegan un papel esencial (58). Estos métodos de entrenamiento específicos del esprint inciden tanto en el área de fuerza como de velocidad de la curva F-V.

Centrándonos en el entrenamiento resistido de esprint, diseñado para incrementar la activación neural y la fuerza de los extensores de cadera, se pueden distinguir diferentes ejercicios de entrenamiento, como la carrera con un chaleco o cinturón lastrado, el arrastre de trineo, el paracaídas y la carrera cuesta arriba o sobre superficie de arena (18, 73, 74). Todas estas modalidades permiten al atleta replicar el patrón de movimiento del esprint con una sobrecarga adicional, lo que conlleva adaptaciones positivas. MacDougall y Sale (59) sugirieron que el entrenamiento debía ser específico con respecto al patrón de movimiento, la fuerza aplicada, el tipo de activación muscular y la velocidad de contracción. Considerando la aplicación de fuerza, el desarrollo de grandes fuerzas es un requisito fundamental para inducir adaptaciones neuromusculares (88) y mejoras funcionales en las tareas atléticas. Sin embargo, el rendimiento del esprint no sólo depende de la cantidad de fuerza total producida, sino también de la capacidad para ejercer tales fuerzas a una velocidad específica y con una orientación similar a la requerida por las propias demandas mecánicas de la tarea (89). En otras palabras, la dirección del vector resultante de las GRF, en respuesta a la fuerza aplicada por el atleta, variará de acuerdo con las condiciones en que se ejerce la fuerza. Por lo tanto, dependiendo del ejercicio, el trabajo deberá centrarse más en la aplicación de fuerzas verticales u horizontales. Por ejemplo, estudios

previos sobre esprint demostraron que las fuerzas horizontales eran mayores al inicio del esprint durante la fase de aceleración, y que las fuerzas verticales incrementaban gradualmente a medida que aumentaba la velocidad de carrera durante la fase de máxima velocidad (26).

En el fútbol, los análisis de la competición han mostrado que alrededor del 90% de los esfuerzos de esprint son generalmente más cortos de 20 m (48), y que los valores de V_{\max} alcanzados son de aproximadamente 31-32 km·h⁻¹ (36). Por lo tanto, la capacidad de desarrollar la V_{\max} del esprint posible en el menor tiempo (es decir, la aceleración) puede ser de gran importancia (94). Sin embargo, también es importante desarrollar la V_{\max} , ya que la mayoría de los esprints en el fútbol comienzan en movimiento (48) y con el cuerpo en una posición erguida (más similar a las condiciones de la fase de máxima velocidad del esprint). Es de suma importancia enfatizar que el desempeño en ambas fases depende de diferentes factores, y que tanto la aceleración como la V_{\max} son cualidades diferentes y específicas (18). Por lo tanto, la combinación de diferentes modalidades de entrenamiento resistido podría ser la solución ideal para el fútbol, dependiendo del objetivo perseguido en cada momento de la temporada. Los entrenadores podrían utilizar el RST (resistencia específica orientada horizontalmente) para desarrollar los atributos de la fase de aceleración temprana y el WVT (resistencia específica orientada verticalmente) para mejorar la V_{\max} . De hecho, un estudio previo de Cronin y coautores (74) sugirió que el WVT puede ser un método de entrenamiento resistido más apropiado para las últimas etapas de la aceleración y la fase de máxima velocidad, aunque el RST puede ser una modalidad de entrenamiento más apropiada para las primeras etapas de la fase de aceleración del esprint. Esta idea está respaldada por un reciente meta-análisis que informó que el RST es un método de entrenamiento eficaz para mejorar la fase de aceleración temprana, pero no para mejorar la fase de máxima velocidad del esprint (68).

Tanto los entrenadores como los preparadores físicos suelen utilizar ambas técnicas de entrenamiento, tanto con trineo como con chaleco lastrado. Sin embargo, a pesar de que el esprint con arrastre de trineo es uno de los métodos más estudiados en la actualidad (69, 70, 74, 105, 125), existe poca evidencia científica con respecto al esprint con chaleco lastrado, y los pocos estudios que han usado esta modalidad sólo han evaluado sus efectos sobre la cinemática (70,

74, 79). Esto implica que la mayor parte del conocimiento aplicado por los profesionales se deriva de sus propias prácticas de entrenamiento más que de un enfoque basado en la evidencia. Por lo que sabemos, sólo 2 estudios (79, 156) investigaron los efectos del incremento de la carga sobre las variables cinéticas utilizando el WVT. Dicha información es importante para prescribir correctamente el entrenamiento de velocidad, lo que requiere una comprensión del perfil fuerza-velocidad-potencia.

Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron describir la relación carga-velocidad durante el esprint utilizando chaleco lastrado en jugadores de fútbol semiprofesionales e investigar los efectos del incremento de la carga sobre las variables espacio-temporales y cinéticas. Además, nuestro objetivo fue determinar qué carga maximizaba la potencia mecánica. Nuestras hipótesis fueron las siguientes: (1) un incremento de la carga causará una disminución en la fuerza horizontal teórica, la P_{max} , el ratio máximo de fuerzas y la tasa de disminución del ratio de fuerzas y; (2) la carga que maximizará la producción de potencia será cercana al 0% del propio peso corporal del atleta.

7.2. MÉTODOS

7.2.1. Participantes

Un total de 23 jugadores de fútbol semiprofesionales (edad: 20.8 ± 1.5 y, altura: 1.80 ± 0.06 m, y peso: 75.3 ± 7.3 kg) fueron reclutados para el estudio. Todos los participantes se encontraban en activo y competían en la tercera división nacional española. Durante todo el período que duró la investigación se mantuvieron las sesiones de entrenamientos y el programa de competición del equipo, que constaba de 4 sesiones de entrenamiento y 1 partido por semana. Además, todos los atletas realizaron todas las sesiones de entrenamiento bajo las pautas del mismo entrenador y preparador físico. Los procedimientos de evaluación se realizaron durante la temporada regular en el mes de abril. Sólo aquellos jugadores que no habían sufrido lesiones en los últimos 6 meses, y que no padecían ninguna condición médica que les impidiera desempeñar el máximo esfuerzo, fueron incluidos en el estudio. Aquellos jugadores que se encontraban o habían estado inmersos en una fase de rehabilitación en los 6 meses anteriores al

estudio, o durante el desarrollo de mismo, fueron excluidos. Los participantes fueron informados sobre los procedimientos experimentales, los posibles riesgos y los beneficios asociados con la participación en el estudio, y luego firmaron el consentimiento antes de realizar cualquiera de las pruebas de evaluación. El estudio se realizó de acuerdo con las directrices recogidas en la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia.

7.2.2. Diseño

Se realizó un estudio transversal, en el que todos los jugadores fueron evaluados en una sola sesión. Previamente se habían familiarizados con los procedimientos y tenían experiencia en el uso de chaleco lastrado. La variable independiente fue la carga del chaleco lastrado, y las variables dependientes fueron la V_{\max} , la velocidad teórica máxima (V_0), el tiempo de carrera sobre una distancia de 30 m (T_{0-30}), la fuerza horizontal máxima teórica (F_0), la P_{\max} y la efectividad de la aplicación de fuerzas, que se determina a partir de 2 variables: (1) el ratio de fuerzas máximo (RF_{\max}), definido como la eficacia máxima teórica de aplicación de fuerza, y que corresponde a una medición directa de la proporción de la fuerza total producida que está orientada en la dirección horizontal del movimiento al inicio del esprint y (2) la tasa de disminución de la relación de fuerzas (D_{RF}), que describe la capacidad del atleta para limitar la inevitable disminución de la efectividad mecánica a medida que aumenta la velocidad de carrera (158).

Las pruebas se realizaron durante la temporada, después de 2 días de descanso, para evitar posibles interferencias causadas por la fatiga. Los participantes completaron un total de 10 esprints de 30 m, mientras llevaban puesto un chaleco lastrado (GetStrong; Get Strong Fitness SL, Ávila, España) con diferentes cargas (determinadas como porcentaje del BM del atleta) en un campo de césped artificial de 3G al aire libre. Además, llevaban puesta su propia indumentaria deportiva durante las pruebas: ropa de entrenamiento y botas de fútbol. Antes de comenzar las evaluaciones, se midieron la altura y el peso para determinar las cargas relativas para el chaleco lastrado (10%, 20%, 30% y 40% del BM). Después de eso, todos los atletas realizaron un calentamiento específico

estandarizado, que consistió en 8 minutos de carrera a baja intensidad, 7 minutos de estiramiento dinámico activo y 4-5 intentos submáximos de esprints de 30 m, incrementando progresivamente la intensidad hasta la máxima y con un descanso de 90 segundos entre intentos.

7.2.3. Metodología

Evaluación de Esprint. Para la evaluación del esprint, seguimos el protocolo propuesto en un estudio reciente de Carlos-Vivas y coautores (156). La principal diferencia fue que utilizamos un rango de cargas más amplio para ver el efecto del uso de cargas más elevadas sobre el esprint con chaleco lastrado. Los jugadores partieron desde una posición de pie y erguida, detrás de la línea de salida, y se les alentó para correr lo más rápido posible. Corrieron tanto sin carga adicional como con el 10%, 20%, 30% y 40% del BM (2 intentos para condición de carga), con un descanso pasivo de al menos 6 minutos entre intentos con el fin de minimizar los efectos de la fatiga sobre el rendimiento. La primera condición completada fue siempre la descargada para evitar un posible efecto de potenciación post-activación que interfiera en los resultados. El orden de prueba posterior se determinó individualmente para cada atleta utilizando una secuencia aleatoria generada electrónicamente con el software de computadora Research Randomizer (versión 4.0) (<http://www.randomizer.org>). El tiempo de esprint se midió utilizando células fotoeléctricas del sistema WITTY de Microgate (Microgate, Bolzano, Italia) que se colocaron en las líneas de inicio y final, a una altura de 1 m por encima del nivel del suelo (157). El tiempo se inició una vez que los jugadores rompieron el haz de luz infrarroja de la compuerta de fotocélulas colocada en la línea de inicio y se detuvo cuando la volvieron a romper en la línea de llegada, situada a 30 m de distancia de la línea de salida. Además, se utilizó un radar (Stalker ATS II; Applied Concepts, Richardson, TX, EEUU), colocado 5 m detrás de la línea de inicio y a una altura de 1 m sobre el nivel del suelo, para medir la velocidad instantánea del esprint utilizando una frecuencia de muestreo de 47 Hz. Sólo se consideraron válidos aquellos esprints en los que la curva de velocidad alcanzó una zona de meseta o *plateau*, indicativo de que se alcanzó la V_{max} . El esprint con el mejor tiempo para cada condición de carga se consideró para el análisis.

Cálculo de las variables mecánicas del esprint. El rendimiento del esprint y los resultados mecánicos se calcularon utilizando un método de campo recientemente desarrollado, que presentó una alta fiabilidad y validez concurrente en comparación con las mediciones de una plataforma de fuerza (CV=2.93 ± 2.00% y 1.87 ± 1.36%, y SEM=3.57 ± 2.33% para las variables de fuerza y potencia horizontal, respectivamente) (106). Este método de cálculo se basa en un análisis macroscópico de la dinámica inversa del movimiento del centro de masas y permite evaluar el perfil F-V-P del esprint a partir de, únicamente, datos antropométricos y espacio-temporales obtenidos durante un único esprint (106). Los datos crudos de velocidad-tiempo, obtenidos a través del radar, se ajustaron mediante una función exponencial y se derivaron para calcular la GRF horizontal neta del suelo y la potencia mecánica horizontal. Luego, las relaciones F-V individuales se extrapolaron para calcular la F_0 y la V_0 (106). Por último, la efectividad mecánica de la aplicación de fuerza se determinó utilizando el RF_{max} y la D_{RF} . Concretamente, un RF_{max} más elevado significa que el jugador puede dirigir la mayor parte de la fuerza total aplicada hacia adelante al inicio del esprint. Sin embargo, un D_{RF} más negativo significa que esta relación de fuerzas tiene un decremento mayor a medida que aumenta la velocidad de carrera (158). La P_{max} y el RF_{max} se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones de Samozino y coautores (106):

$$P_{max} = \frac{F_0 \cdot V_0}{4} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$RF = \frac{F_H}{\sqrt{F_H^2 + F_V^2}} \cdot 100 \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde P_{max} es la potencia mecánica máxima, F_0 es la fuerza horizontal teórica máxima, V_0 es la velocidad teórica máxima, RF es el ratio de fuerzas, F_H es la fuerza horizontal y F_V es la fuerza vertical para cada paso o apoyo.

7.2.4. Análisis estadístico

Las estadísticas descriptivas resumen todas las características demográficas y los resultados obtenidos. Los datos se presentan como media ± SD. Todos los datos se transformaron logarítmicamente para el análisis con el fin de reducir el sesgo derivado de los errores de no uniformidad de los datos y luego se

analizaron para determinar su importancia práctica utilizando MBI. Los valores de umbral para la estadística del ES de Cohen fueron los siguientes: >0.2 , *small*; >0.6 , *moderate*; >1.2 , *large*; >2.0 , *very large*; y >4.0 , *nearly perfect* (120). La posibilidad de que cualquier diferencia fuera *greater*/mejor (es decir, mayor que el cambio más pequeño que vale la pena [0.2 multiplicado por la SD entre sujetos, basado en el ES d de Cohen]), o similar o *poorer*/peor que el otro grupo, se calculó posteriormente (47). Las probabilidades cuantitativas de un efecto *greater*/mejor o *poorer*/peor se evaluaron cualitativamente de la siguiente manera: $<1\%$, *almost certainly not*; 1–5%, *very unlikely*; 5–25%, *unlikely*; 25–75%, *possible*; 75–95%, *likely*; 95–99%, *very likely*; and $>99\%$, *almost certainly*. Si la probabilidad de tener *greater*/mejor o *poorer*/peor era $>5\%$, la verdadera diferencia se consideró poco clara o *unclear* (47). Si la probabilidad fue $>75\%$, los datos se consideraron sustancialmente diferentes.

7.3. RESULTADOS

La Tabla 9 muestra las diferencias relativas y los resultados cualitativos resultantes de los análisis de comparación entre cargas con respecto a las variables espacio-temporales medidas. Del mismo modo, la Figura 13 ilustra la comparación de los efectos entre las diferentes cargas. Como se esperaba, se observó un aumento casi seguro en el T_{0-30} (ES = 0.73–3.98; *moderate* a *very large*; $P < 0.001$) cuando la carga aumentó. Por el contrario, hubo una disminución casi segura en la V_{\max} (ES = 0.70–4.17; *moderate* a *nearly perfect*; $P < 0.001$) y la V_0 (ES = 0.68–4.28; *moderate* a *nearly perfect*; $P < 0.001$) a medida que la carga incrementaba.

Tabla 9. Diferencias relativas entre cargas y resultados cualitativos en variables espacio-temporales.

	Media \pm SD	Comparación (% BM)	Cambios (%) (90% CI)	Probabilidad (%)	Evaluación Cualitativa	Resultado Cualitativo	P
T₀₋₃₀ (s)		0% vs. 10%	4.3 (5.6; 3.8)	100/0/0%	Almost Certainly	Moderate	
		0% vs. 20%	8.0 (7.3; 8.8)	100/0/0%	Almost Certainly	Large	
		0% vs. 30%	11.8 (11.0; 12.7)	100/0/0%	Almost Certainly	Very Large	
		0% vs. 40%	16.9 (15.3; 18.6)	100/0/0%	Almost Certainly	Very Large	
		10% vs. 20%	3.6 (3.1; 4.2)	100/0/0%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
		10% vs. 30%	7.3 (6.6; 8.0)	100/0/0%	Almost Certainly	Large	
		10% vs. 40%	12.3 (11.2; 13.4)	100/0/0%	Almost Certainly	Very Large	
		20% vs. 30%	3.5 (2.9; 4.2)	100/0/0%	Almost Certainly	Moderate	
		20% vs. 40%	8.3 (7.2; 9.4)	100/0/0%	Almost Certainly	Large	
			30% vs. 40%	4.7 (3.6; 5.9)	100/0/0%	Almost Certainly	Moderate
V_{max} (m/s)		0% vs. 10%	-4.7 (-5.6; -3.8)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
		0% vs. 20%	-8.4 (-9.2; -7.6)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
		0% vs. 30%	-11.7 (-12.5; -10.8)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
		0% vs. 40%	-16.1 (-17.5; -14.6)	0/0/100%	Almost Certainly	Nearly Perfect	
		10% vs. 20%	-3.9 (-4.5; -3.3)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
		10% vs. 30%	-7.3 (-8.1; -6.5)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
		10% vs. 40%	-12.1 (-13.1; -11.0)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
		20% vs. 30%	-3.6 (-4.3; -2.8)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
		20% vs. 40%	-8.4 (-9.5; -7.2)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
			30% vs. 40%	-5.2 (-6.4; -3.9)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate

Tabla 9 (Continuación)

	Media \pm SD	Comparación (% BM)	Cambios (%) (90% CL)	Probabilidad (%)	Evaluación Cualitativa	Resultado Cualitativo	P
		0% vs. 10%	-5.2 (-6.2; -4.2)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
		0% vs. 20%	-9.2 (-10.1; -8.4)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	0%: 8.99 \pm 0.39	0% vs. 30%	-12.6 (-13.6; -11.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	10%: 8.53 \pm 0.49	0% vs. 40%	-17.3 (-18.9; -15.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Nearly Perfect	
	20%: 8.16 \pm 0.45	10% vs. 20%	-4.2 (-4.4; -3.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
	30%: 7.86 \pm 0.50	10% vs. 30%	-7.9 (-8.8; -6.9)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	40%: 7.47 \pm 0.55	10% vs. 40%	-12.9 (-13.1; -11.0)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
		20% vs. 30%	-3.8 (-4.6; -2.9)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
		20% vs. 40%	-9.0 (-10.2; -7.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
		30% vs. 40%	-5.6 (-7.0; -4.3)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	

BM = peso corporal; CL = límite de confianza; % Difference = porcentaje de diferencia; Probabilidad = porcentaje de probabilidad de tener valores mejores/similares/peores; SD = desviación típica; 0% = sin carga extra; 10% = carga extra del 10% BM; 20% = carga extra del 20% BM; 30% = carga extra del 30% BM; 40% = carga extra del 40% BM; T_{0-30} = tiempo de sprint en 30 m; V_{max} = velocidad máxima de sprint; V_0 = velocidad máxima teórica de sprint; P = valor p.

La Tabla 10 muestra las variables cinéticas de esprint y sus diferencias relativas, además de los resultados cualitativos resultantes del análisis de comparación entre cargas, y las Figuras 14 y 16 representan la comparación de los efectos entre las diferentes cargas utilizadas. Hubo una reducción casi segura de la F_0 (ES = 0.78–3.35; *moderate a very large*; $P < 0.001$), la P_{\max} (ES = 0.78–3.81; *moderate a very large*; $P < 0.001$) y el RF_{\max} (ES = 0.82–3.87; *moderate a very large*; $P < 0.001$) cuando la carga aumentó, a diferencia de la D_{RF} (ES = 0.04–0.91; *trivial a moderate*; $P = 0.80$ a < 0.001), en la cual se observó un incremento. Los datos de P_{\max} muestran que la carga que maximizó la producción de potencia fue cercana al 0% del propio peso corporal de los jugadores (Figura 15).

Tabla 10. Diferencias relativas entre cargas y resultados cualitativos en variables cinéticas.

Media \pm SD	Comparación (% BM)	Cambios (%) (90% CL)	Probabilidad (%)	Evaluación Cualitativa	Resultado Cualitativo	P
F₀ (N·kg ⁻¹)	0% vs. 10%	-5.9 (-6.9; -5.0)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	0% vs. 20%	-11.2 (-12.5; -10.0)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	0% vs. 30%	-16.7 (-17.9; -15.5)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	0% vs. 40%	-22.1 (-23.8; -20.3)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	10% vs. 20%	-5.7 (-6.7; -4.6)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
	10% vs. 30%	-11.5 (-12.2; -10.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	10% vs. 40%	-17.2 (-18.6; -15.9)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	20% vs. 30%	-6.1 (-7.0; -5.3)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	20% vs. 40%	-12.2 (-13.4; -10.9)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	30% vs. 40%	-6.5 (-7.8; -5.1)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	0% vs. 10%	-10.8 (-12.4; -9.2)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	0% vs. 20%	-19.4 (-21.1; -17.8)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	0% vs. 30%	-27.3 (-28.8; -25.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
0% vs. 40%	-35.6 (-38.0; -33.1)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large		
P_{max} (W·kg ⁻¹)	10% vs. 20%	-9.7 (-11.0; -8.3)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
	10% vs. 30%	-18.4 (-19.7; -17.1)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	10% vs. 40%	-28.0 (-29.8; -26.0)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	20% vs. 30%	-9.7 (-11.1; -8.2)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	20% vs. 40%	-20.0 (-22.1; 17.9)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	30% vs. 40%	-11.7 (-14.1; -9.3)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	

Tabla 10 (Continuación)

Media \pm SD	Comparación (% BM)	Cambios (%) (90% CL)	Probabilidad (%)	Evaluación Cualitativa	Resultado Cualitativo	P
	0% vs. 10%	-4.6 (-5.4; -3.8)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	0% vs. 20%	-8.3 (-9.1; -7.6)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	0% vs. 30%	-12.5 (-13.4; -11.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	0% vs. 40%	-17.1 (-18.6; -15.6)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	10% vs. 20%	-3.9 (-4.6; -3.2)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
	10% vs. 30%	-8.3 (-9.0; -7.7)	0/0/100%	Almost Certainly	Large	
	10% vs. 40%	-13.3 (-14.3; -11.8)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	20% vs. 30%	-4.6 (-5.4; -3.8)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	20% vs. 40%	-9.6 (-10.8; -8.3)	0/0/100%	Almost Certainly	Very Large	
	30% vs. 40%	-5.4 (-6.7; -4.0)	0/0/100%	Almost Certainly	Moderate	
	0% vs. 10%	-0.1 (-1.1; 0.9)	8/76/17%	Unclear	Trivial	0.80
	0% vs. 20%	0.7 (-0.6; 2.0)	47/49/4%	Possibly	Trivial	0.37
	0% vs. 30%	2.5 (1.2; 3.8)	99/1/0%	Very Likely	Moderate	0.002
	0% vs. 40%	3.1 (1.5; 4.7)	99/1/0%	Very Likely	Moderate	0.002
	10% vs. 20%	0.8 (-0.3; 1.9)	56/43/1%	Possibly	Small	0.20
	10% vs. 30%	2.7 (1.7; 3.7)	100/0/0%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
	10% vs. 40%	3.2 (2.0; 4.4)	100/0/0%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
	20% vs. 30%	1.8 (1.0; 2.6)	99/1/0%	Very Likely	Small	<0.001
	20% vs. 40%	2.4 (1.6; 3.2)	100/0/0%	Almost Certainly	Moderate	<0.001
	30% vs. 40%	0.4 (-0.5; 1.3)	27/71/2%	Possibly	Trivial	0.44

BM = peso corporal; CL = límites de confianza; % Difference = diferencia de porcentaje; Probabilidad = porcentaje de probabilidad de tener valores mejores/similares/peores; SD = desviación estándar; 0% = sin carga extra; 10% = carga extra de 10% BM; 20% = carga extra de 20% BM; 30% = carga extra de 30% BM; 40% = carga extra de 40% BM; F₀ = fuerza horizontal máxima teórica en N·kg⁻¹; F_{max} = potencia de salida máxima horizontal en W·kg⁻¹; RF_{max} = relación máxima de fuerzas, como porcentaje; D_{RF} = disminución en la relación de fuerzas, como porcentaje; P = valor p.

7.4. DISCUSIÓN

El WVT de esprint es una modalidad de entrenamiento con resistencia adicional popular, utilizada para desarrollar la fuerza y la potencia de las extremidades inferiores en muchos deportes, como el fútbol. En este estudio, el objetivo fue describir la relación F-V-P, así como los efectos del incremento de la carga del chaleco lastrado sobre las variables cinemáticas espacio-temporales y cinéticas. Además, intentamos determinar la carga que maximiza la producción de potencia en jugadores de fútbol semiprofesionales con el objetivo de ayudar a los entrenadores y preparadores físicos a diseñar programas de entrenamiento de velocidad. Los resultados confirmaron la hipótesis de que aumentar la carga causaría una disminución en la F_0 , la P_{max} y el RF_{max} y un incremento en la D_{RF} . Del mismo modo, la P_{max} se logró con cargas cercanas al propio peso corporal de los jugadores.

Con respecto a las variables espacio-temporales, hubo un incremento en el T_{0-30} y una disminución en la V_{max} cuando la carga aumentó, lo que está en línea con otros estudios previos que analizaron el esprint con chaleco lastrado (18, 70, 74, 79, 156). Un incremento del 10% del BM en el chaleco provocó una disminución de alrededor del 4-5% de la V_{max} . Específicamente, la disminución del 4.7% en la V_{max} con el 10% del BM en comparación con la condición de descarga es similar a la mostrada en investigaciones previas que reportaron una reducción del 3.5% (79), del 3.8% (18) y del 4.3% (156) usando un porcentaje de carga adicional similar. Cross y coautores (79) mostraron una disminución del 5.6% en la V_{max} con el 20% del BM, un valor comparable al 8.8% de disminución obtenido en este estudio cuando se utilizó la misma carga relativa. Además, hubo un incremento del 7.7% en el T_{0-30} con el 20% del BM, siguiendo la misma tendencia observada en el estudio de Cronin y coautores (74) que, sin embargo, informaron de un aumento del 11.7%. Esta disminución en el rendimiento del esprint, al incrementar la carga adicional, fue probablemente causada por una reducción en la amplitud y frecuencia de zancada, el tiempo de vuelo, y un incremento en el tiempo de contacto durante la fase de apoyo.

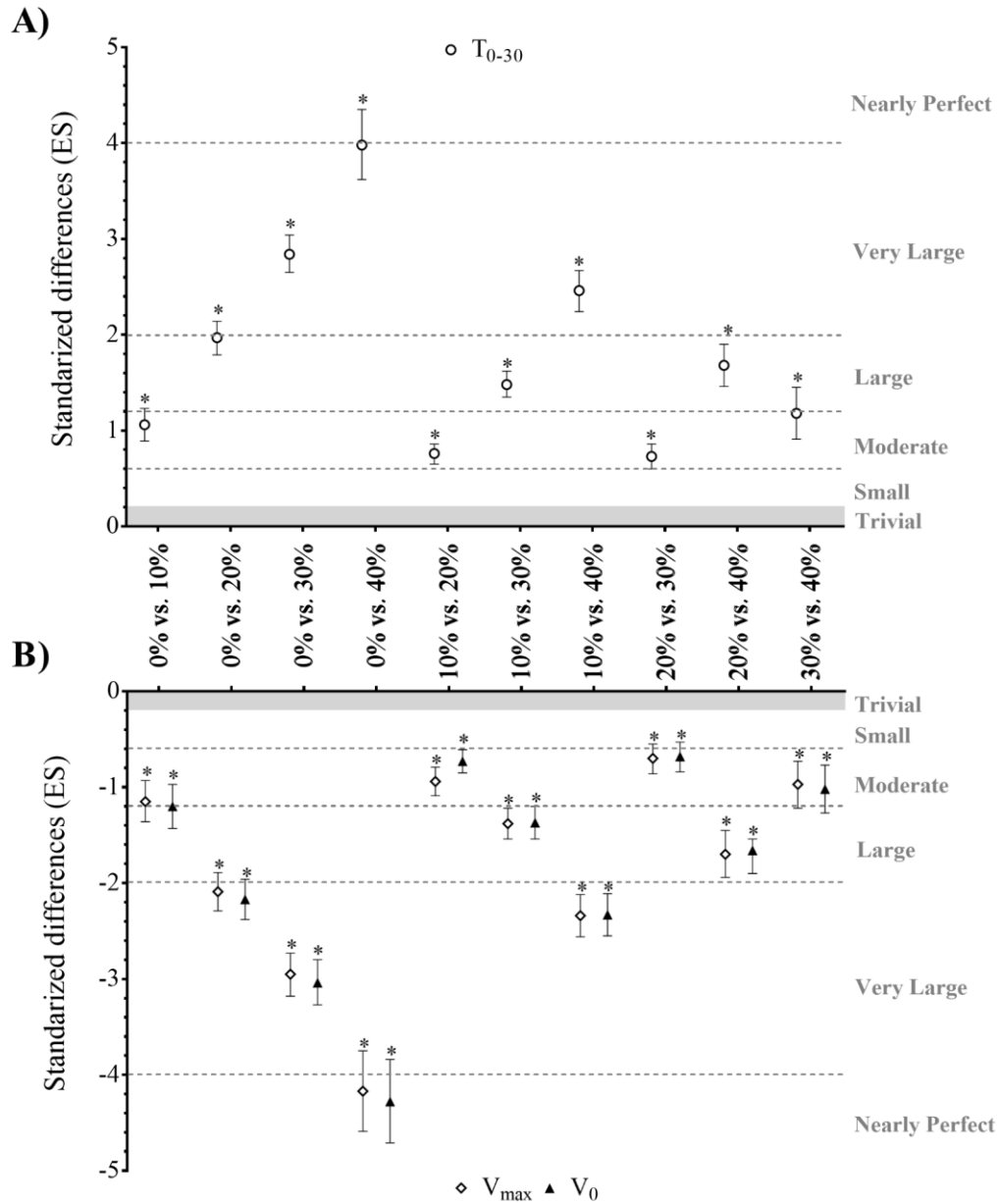


Figura 13. Comparación de los tamaños del efecto entre las cargas en el T₀₋₃₀, la V_{max} y la V₀. Las barras indican la incertidumbre en los cambios medios verdaderos con intervalos de confianza al 90%. Evaluación cualitativa: * *almost certainly*. T₀₋₃₀ = tiempo esprint de 30 m en segundos; V_{max} = velocidad máxima de esprint en m·s⁻¹; V₀ = velocidad máxima teórica en m·s⁻¹.

Con respecto a los parámetros cinéticos, la F_0 disminuyó sustancialmente un 6-7% por cada 10% de incremento en la carga. Un estudio previo que observó los efectos de diferentes cargas de chaleco lastrado sobre la F_0 (79) informó un efecto no significativo durante las fases de aceleración y máxima velocidad. Estos efectos sobre la F_0 pueden deberse al hecho de que la carga aplicada está orientada verticalmente, y a una posición evidentemente más erguida del tronco de los atletas cuando se parte de una posición inicial sobre 2 apoyos. Además, una reducción en la capacidad de los jugadores para controlar la masa adicional agregada alrededor de su tronco al utilizar el chaleco lastrado (74) podría explicar los resultados obtenidos. Curiosamente, la P_{max} se logró en condiciones descargadas y también disminuyó cuando la carga aumentó. Específicamente, hubo un decremento del 11-14% por cada 10% de incremento de la carga. Esto apoya la idea de que el sistema muscular de las extremidades inferiores podría estar diseñado para producir la P_{max} en movimientos rápidos sin carga adicional.

Vale la pena señalar que este estudio esclareció la carga que maximizó la producción de potencia durante el esprint con chaleco lastrado, mientras que una investigación previa (156) mostró resultados poco claros o *unclear*. De hecho, los 2 estudios (79, 156) que analizaron la P_{max} presentaron cambios no significativos (79) o *unclear* (156) durante la fase de aceleración del esprint utilizando chaleco lastrado. Sin embargo, los métodos utilizados para calcular la P_{max} fueron diferentes. Por lo tanto, se debe tener cuidado al comparar los resultados, ya que los métodos utilizados son diferentes. Por un lado, al igual que en este estudio, Carlos-Vivas y coautores (156) calcularon la P_{max} usando el método propuesto por Samozino y coautores (106) Por otro lado, Cross y coautores (79) utilizaron un tapiz rodante Woodway Force 3.0 y estimaron la P_{max} como el producto de la fuerza ejercida sobre una célula de carga horizontal y la velocidad del tapiz rodante.

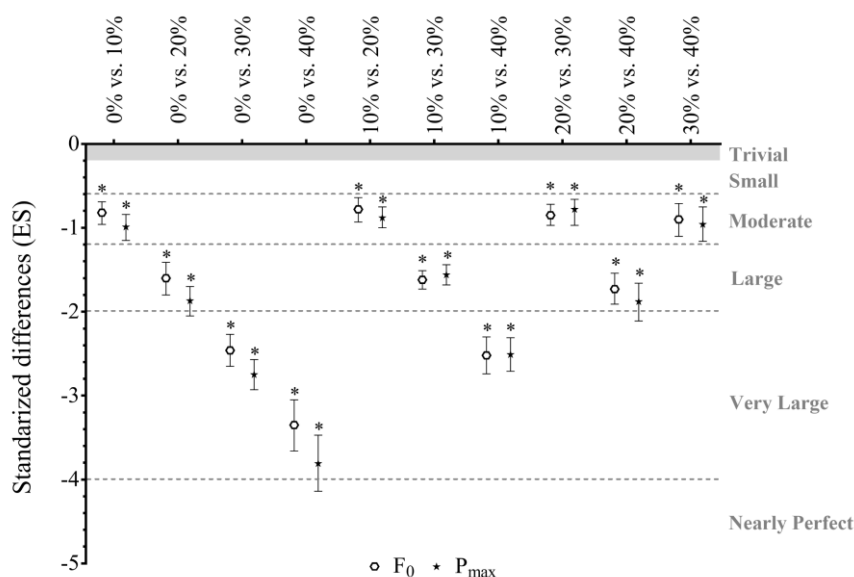


Figura 14. Comparación de los tamaños del efecto entre las cargas en la F_0 y la P_{max} . Las barras indican la incertidumbre en los cambios medios verdaderos con intervalos de confianza al 90%. Evaluación cualitativa: * *almost certainly*. F_0 = fuerza teórica máxima horizontal en $N \cdot kg^{-1}$; P_{max} = potencia máxima horizontal en $W \cdot kg^{-1}$.

Hace mucho tiempo, Bosco y coautores (95) resaltaron la posibilidad de aumentar la producción de potencia vertical utilizando el entrenamiento con chaleco lastrado, ya que este dispositivo permite aumentar la carga excéntrica en los músculos extensores durante la fase de frenado. Esta sobrecarga puede ayudar a aumentar la capacidad de los músculos para almacenar energía elástica y mejorar la producción de potencia. Sin embargo, como se mostró anteriormente, nuestros resultados indicaron que la P_{max} se logró en condiciones descargadas. Esta disonancia puede explicarse por el método utilizado para calcular la potencia. En el método propuesto por Samozino y coautores (106), la P_{max} se calcula considerando la F_0 en lugar de la fuerza resultante. Por lo tanto, dado que la producción de fuerza horizontal y la velocidad se redujeron por la orientación vertical de la carga del chaleco, es poco probable que proporcione un estímulo de potencia horizontal (Figura 15). Tal vez, se puede suponer que el chaleco lastrado podría ser útil para aumentar la potencia vertical durante la fase de máxima velocidad, en la que el componente vertical de la GRF adquiere mayor importancia.

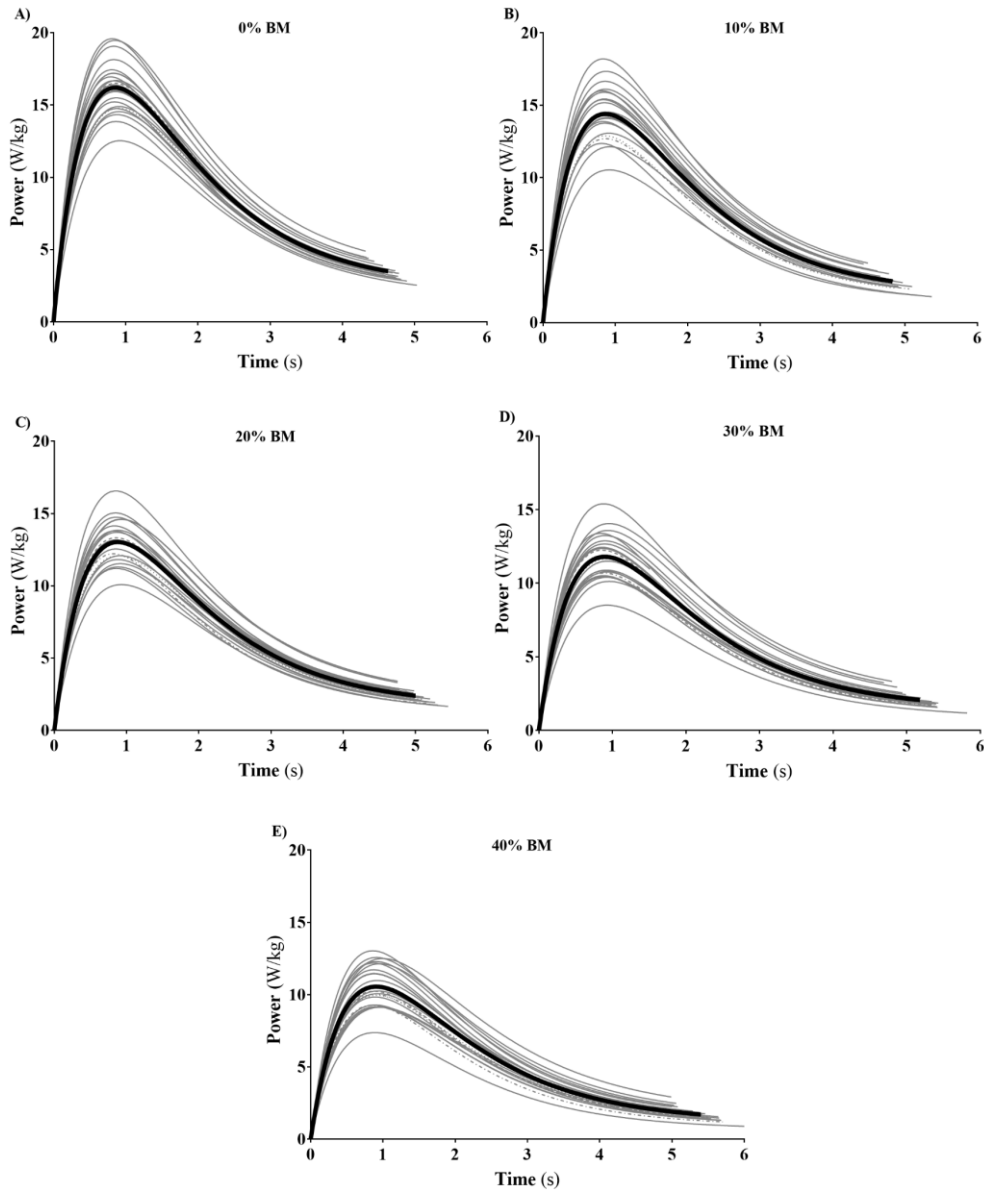


Figura 15. Comparación intra-carga de la curva potencia-tiempo entre jugadores. (A) 0% BM: sin carga adicional, (B) 10% BM: carga adicional del 10% del BM, (C) 20% BM: carga adicional del 20% del BM, (D) 30% BM: carga adicional del 30% del BM, y (E) 40% BM: carga extra del 40% del BM. BM = peso corporal. La línea en negrita representa la media de la curva de potencia-tiempo para cada carga y la línea gris muestra la curva de potencia-tiempo de cada jugador para las diferentes condiciones de carga.

Por lo que sabemos, este es el primer estudio que investiga el efecto de diferentes cargas de chaleco lastrado sobre la efectividad de la aplicación de fuerza durante el esprint, que está determinada por el RF_{max} y la D_{RF} . Al analizar estas variables, observamos que hubo una disminución sustancial en el RF_{max} a medida que aumentaba la carga. Esto sería de esperar, sabiendo que esta variable se calcula al inicio del esprint, donde la aplicación de fuerzas horizontales es muy importante para acelerar el cuerpo hacia adelante (26), y que el chaleco aumenta la carga verticalmente. También hubo un aumento general en la D_{RF} a medida que aumentaba la carga, que fue sustancialmente mayor cuando la carga se incrementó más del 20% del BM. Esto reflejaba una mejor capacidad para mantener la producción de fuerza horizontal neta a medida que aumentaba la velocidad. Sin embargo, se debe tener cuidado al interpretar los resultados, ya que la pendiente menos negativa con cargas más pesadas estuvo condicionada por un RF_{max} y una V_{max} de esprint sustancialmente inferiores. Además, los resultados parecen indicar que el incremento de carga en la componente vertical podría afectar más negativamente al RF_{max} que a la V_{max} alcanzada, particularmente cuando la carga es superior al 20% del BM.

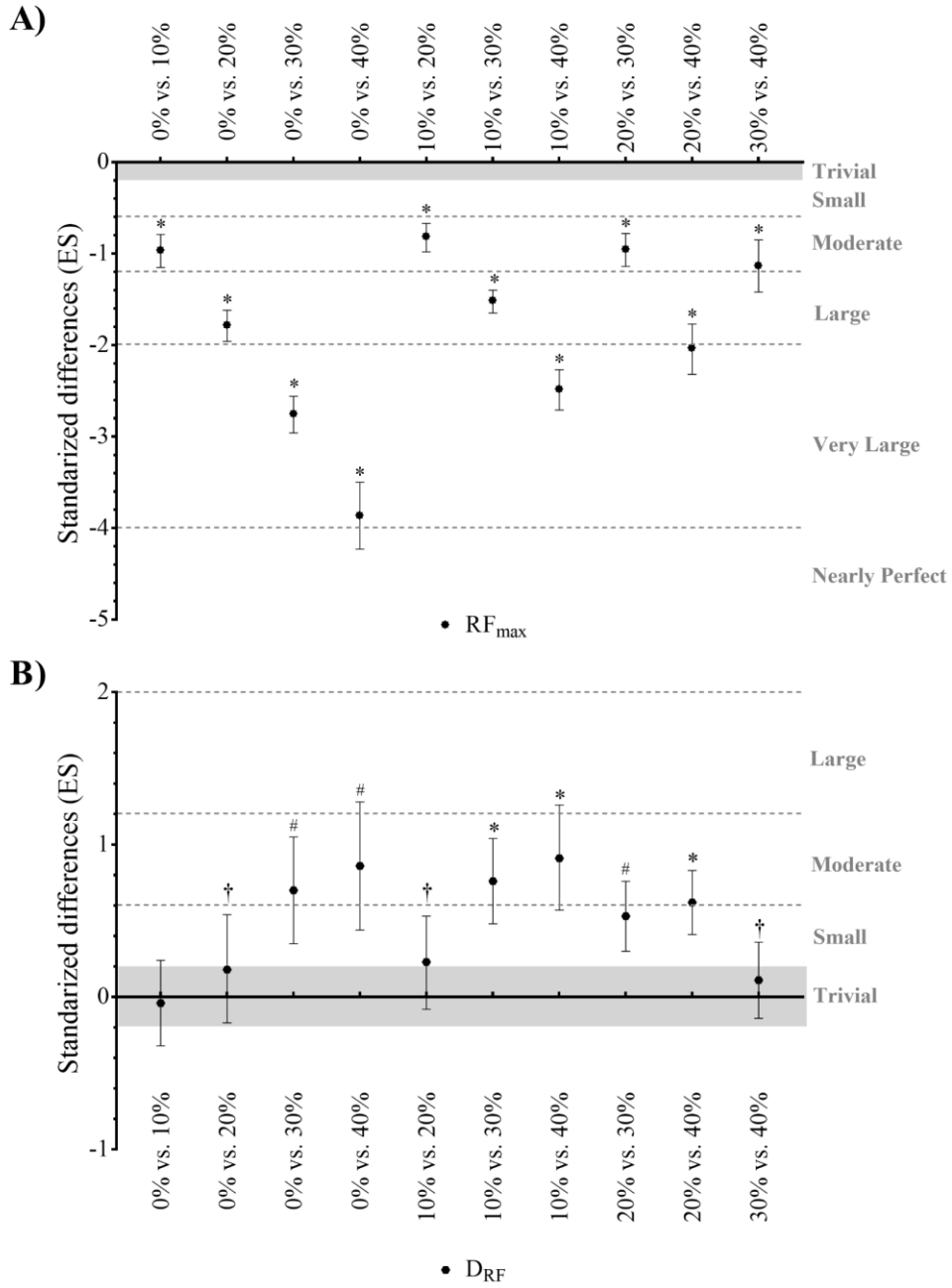


Figura 16. Comparación de los tamaños del efecto entre las cargas en RF_{max} y D_{RF} . Las barras indican incertidumbre en los cambios medios verdaderos con intervalos de confianza del 90%. Evaluación cualitativa: † *possibly*, # *very likely*, * *almost certainly*. RF_{max} = ratio de fuerzas máximo, como porcentaje; D_{RF} = tasa de disminución del ratio de fuerzas, como porcentaje.

De acuerdo con la literatura anterior (18, 70, 74, 105, 125), no cabe duda de que los ejercicios de entrenamiento resistido son un método eficaz para aumentar la capacidad del atleta para generar fuerzas de esprint tanto horizontales como verticales, dependiendo de la dirección de la resistencia aplicada que surja del ejercicio de entrenamiento elegido. Sin embargo, es importante entender que cada técnica de entrenamiento resistida proporciona un estímulo de entrenamiento diferente (94) y que ambos pueden prescribirse, dependiendo de los objetivos de entrenamiento. En el esprint con chaleco lastrado, la resistencia adicional en el atleta surge del peso del dispositivo y se dirige verticalmente hacia abajo, mientras que un trineo se arrastra detrás del atleta, y la fuerza de resistencia en el atleta se dirige ligeramente hacia abajo y hacia atrás porque el punto de conexión al trineo es más bajo que el punto de conexión al atleta. Los hallazgos encontrados en investigaciones anteriores podrían indicar que el RST puede ser una mejor opción para mejorar la fase de aceleración temprana, ya que este método parece reproducir con mayor precisión sus condiciones (mayor inclinación del tronco del atleta hacia delante y mayor duración y producción de fuerza horizontal durante la fase de apoyo para acelerar el cuerpo hacia adelante) (69, 94). Por el contrario, el esprint con chaleco lastrado podría ser mejor para promover adaptaciones de V_{max} . Esta modalidad tiene menos efecto sobre el ángulo del tronco (es decir, el atleta permanece más erguido) y, durante las últimas etapas de la aceleración y la fase de máxima velocidad (donde las fuerzas de frenado son un componente más significativo (74)), proporciona una mayor carga de frenado excéntrica al inicio de la fase de apoyo. Sorprendentemente, este estímulo excéntrico también podría proporcionar adaptaciones positivas sobre la capacidad de cambio de dirección, la cual es esencial para el rendimiento en deportes de equipo, como el fútbol (159). Sin embargo, sería necesario que las investigaciones futuras evalúen los efectos a largo plazo de la combinación de métodos de resistencia horizontal y vertical en la capacidad de rendimiento del esprint y el cambio de dirección, considerando los efectos agudos encontrados en este estudio e investigación previa, y sabiendo que está bien documentado que las fuerzas horizontales son mayores en los primeros pasos y las verticales son mayores en los metros restantes (26), ya que, los atletas necesitan constantemente superar la fuerza de la gravedad.

Las principales limitaciones de este estudio se encuentran en que el método de cálculo utilizado para calcular las variables cinéticas sólo considera las

componentes horizontales de fuerza y potencia, y que los resultados se calculan para los sprints desde una posición de inicio estática. Los estudios futuros deben investigar los efectos de combinar métodos de entrenamiento específicos orientados vertical y horizontalmente sobre el rendimiento del sprint, la capacidad de cambio de dirección, el salto y otras capacidades físicas clave en los deportes de equipo. Además, deben aclarar la dosis de entrenamiento requerida para mejorar el rendimiento utilizando estas modalidades de entrenamiento.

7.5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran claramente que el aumento de la carga en el sprint con chaleco lastrado afecta a las variables espacio-temporales y cinéticas. Sin embargo, el mayor cambio ocurre con cargas superiores al 20% del BM, especialmente en el ratio de fuerzas. Además, la P_{\max} se logra con cargas cercanas al peso corporal del propio atleta. Por lo tanto, se recomienda utilizar cargas del 0-20% del BM para el sprint con chaleco lastrado, especialmente para mejorar la V_{\max} .

7.6. APLICACIONES PRÁCTICAS

Este estudio proporciona información importante para entrenadores y preparadores físicos sobre los efectos del incremento de la carga sobre los parámetros cinemáticos espacio-temporales y cinéticos en el sprint con chaleco lastrado en jugadores de fútbol. Los datos de este estudio pueden ayudar a elegir el dispositivo de entrenamiento resistido adecuado, dependiendo de los objetivos perseguidos en cada momento de la temporada. Si el objetivo del entrenador o del preparador físico es mejorar la fase de aceleración, el sprint descargado puede ser un mejor estímulo que el sprint con chaleco lastrado. Sin embargo, si el objetivo es mejorar la fase de máxima velocidad, el entrenamiento de sprint con chaleco lastrado con cargas inferiores o iguales al 20% del BM parece ser una buena opción.

VIII – ESTUDIO N° 4

CAPÍTULO VIII. ESTUDIO N° 4

¿AFECTA LA DIRECCIÓN DE LA CARGA (VERTICAL VS HORIZONTAL) EN EL ENTRENAMIENTO RESISTIDO DE ESPRINT SOBRE LAS ADAPTACIONES DEL RENDIMIENTO EN EL FÚTBOL?

8.1. INTRODUCCIÓN

El esprint, el cambio de dirección (COD) y los saltos son cualidades fundamentales para el rendimiento en fútbol y son inherentes a acciones comunes como marcar un gol, asistir a un compañero de equipo o anticipar el comportamiento de los oponentes (20). Un jugador de fútbol realiza cientos de COD durante un partido (50), iniciando la mayoría de ellos a baja velocidad y seguidos de un esprint lineal. Específicamente, la acción de alta intensidad más típica es un COD de 100-120 grados, seguida inmediatamente de un esprint lineal de 5-20m (50). Por lo tanto, la capacidad de COD está parcialmente relacionada con la capacidad de esprint lineal y requiere de fuerzas propulsivas tanto horizontales como verticales (51). De hecho, los atletas que producen mayores fuerzas propulsoras verticales y horizontales tienen un mejor desempeño en las tareas de COD (52). Además, el buen desarrollo de la fuerza en los miembros inferiores es importante para los jugadores de fútbol, ya que esta capacidad influye en el desarrollo de potencia y en el éxito en las habilidades de alta intensidad (ej. sprint, COD y salto) (37). Por lo tanto, parece que el entrenamiento de potencia y velocidad son cualidades cruciales para la mejora del rendimiento en los jugadores de fútbol.

Para desarrollar estas cualidades, MacDougall y Sale (59) argumentaron que el entrenamiento debe ser específico con respecto al patrón de movimiento, la fuerza aplicada, el tipo de activación muscular y la velocidad de contracción. Por lo tanto, no sorprende que las rutinas de entrenamiento en el fútbol incluyan métodos de entrenamiento que involucren tareas motoras específicas, tales como carreras de velocidad resistidas o ejercicios pliométricos. En este sentido, el entrenamiento resistido de esprint, donde los atletas aceleran con una sobrecarga adicional, se ha mostrado como un método de entrenamiento efectivo para

mejorar el rendimiento (11, 68-71). Además, las modalidades de entrenamiento resistido de esprint también pueden producir un efecto positivo sobre la capacidad de COD y, por lo tanto, mejorar aún más el rendimiento deportivo. Algunos estudios previos han analizado los efectos de los programas de RST con cargas ligeras (84, 85) y con cargas pesadas (86) en jugadores de fútbol, informando mejoras en la capacidad de COD, pero no mejores que las producidas por el URS (85) u otros programas de entrenamiento, como el entrenamiento de sentadilla o pliometría (84). Más recientemente, Rodríguez-Osorio y coautores (87) concluyeron que 6 semanas de WVT con COD sin carga adicional, con cargas moderadas (12.5% del BM) y con cargas pesadas (50% del BM) pueden tener efectos positivos en el esprint, el COD y el salto, especialmente con cargas moderadas.

Las modalidades de entrenamiento resistido de esprint con diferentes direcciones de carga (es decir, trineo, chaleco lastrado y paracaídas) (18, 74, 160) son comúnmente utilizadas por entrenadores y preparadores físicos. Con respecto a la dirección de la aplicación de la fuerza, está claro que el desarrollo de grandes fuerzas es una cualidad clave para inducir adaptaciones neuromusculares (88) y mejoras funcionales de las tareas atléticas (161). Sin embargo, los entrenadores y los preparadores físicos deben tener en cuenta que el rendimiento también depende de la capacidad de aplicar tales fuerzas a velocidades específicas y con orientaciones similares a las requeridas por las demandas mecánicas de la tarea (59, 89). En este sentido, una diferencia importante entre las modalidades de entrenamiento resistido de esprint, que puede afectar las adaptaciones, es la orientación de la resistencia aplicada (18). De hecho, estudios recientes demostraron que el rendimiento crónico (es decir, el esprint y el salto) y las adaptaciones biomecánicas (es decir, la efectividad de la fuerza aplicada y la rigidez o *stiffness*) pueden asociarse con los programas de entrenamiento orientados vertical y horizontalmente (61, 90, 91). Esto quiere decir que, la dirección del vector de la GRF resultante, relacionada con la fuerza aplicada por el atleta, diferirá según las condiciones en las que se aplique la fuerza (92). Por lo tanto, los entrenadores deben tener una comprensión clara de los requisitos de fuerza vertical y horizontal de una tarea determinada. Por ejemplo, estudios previos sobre esprint demostraron que las fuerzas horizontales fueron mayores durante los primeros pasos en la fase de aceleración, mientras que las fuerzas

verticales se hicieron más importantes a medida que la velocidad aumentaba (26, 32, 33). Es importante tener en cuenta que estos estudios se realizaron en velocistas y saliendo desde los bloques de salida, que en deportes de equipo, como el fútbol, es diferente porque la carrera se inicia desde una posición vertical o en movimiento (48).

Para una mejor comprensión de la aceleración y la velocidad máxima, importantes para muchos deportes, las GRF han sido ampliamente estudiadas (26, 29, 32, 33, 93). Recientemente, Colyer y coautores informaron que los velocistas produjeron una mayor potencia horizontal promedio que los jugadores de fútbol durante la fase de aceleración, lo que prolonga su fase de aceleración y, por lo tanto, les permite obtener una V_{\max} mayor (93). Por lo tanto, una mayor producción de fuerza anteroposterior u horizontal promedio durante la fase de aceleración con la capacidad de mantener un vector de fuerza más orientado horizontalmente a medida que aumenta la velocidad son indicadores de rendimiento cruciales (26). Un meta-análisis reciente de Alcaraz y coautores, realizó una síntesis de todos los estudios que aplicaron RST y se informó que es efectivo para mejorar la fase de aceleración del esprint, pero no para la fase de máxima velocidad (68). Esto podría deberse a la importancia de poder generar mayores fuerzas horizontales durante la fase de aceleración, mientras que la capacidad de ejercer una alta fuerza vertical normalizada (peso corporal) con contactos cortos en el suelo limita la fase de máxima velocidad (29). Por lo tanto, Cronin y coautores sugirieron que el WVT, que proporciona una resistencia orientada verticalmente, puede ser una modalidad más apropiada para el entrenamiento a altas velocidades (74). De hecho, se ha demostrado que la transición de velocidades más bajas a velocidades más altas da lugar a fases de apoyo más cortas con aumentos en la fuerza vertical máxima (90). La capacidad de producir grandes fuerzas verticales durante la fase de máxima velocidad se asocia con mejores rendimientos de velocidad (33). Sin embargo, según el conocimiento de los autores, ningún estudio ha investigado las adaptaciones de las intervenciones de entrenamiento resistido de esprint utilizando modalidades de resistencia orientadas verticalmente (por ejemplo, chaleco lastrado). Además, se puede usar un chaleco lastrado cuando se realiza un COD, mientras que los trineos no lo permiten.

En resumen, parece que tanto el entrenamiento resistido de esprint orientado verticalmente como horizontalmente, así como la combinación de ambas, pueden mejorar tanto el rendimiento en el esprint como en el COD, cualidades fundamentales para el rendimiento en el fútbol. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue analizar y comparar los efectos de diferentes modalidades de entrenamiento resistido de esprint sobre el rendimiento en jugadores de fútbol juvenil después de 8 semanas de entrenamiento de esprint lineal y con COD. Los autores plantearon la hipótesis de que: 1) todos los grupos de entrenamiento resistido de esprint experimentarán mejoras en el rendimiento de esprint y COD, y probablemente también obtendrán mejoras en la capacidad de salto horizontal y vertical, y 2) los grupos que realizaron entrenamiento resistido de esprint con resistencia orientada horizontalmente y verticalmente lograrán las mayores mejoras en ejercicios horizontales y verticales, respectivamente.

8.2. MATERIALES Y MÉTODOS

8.2.1. Diseño

Se realizó un estudio experimental aleatorio pre-post de 10 semanas: una semana de pre-test, ocho semanas de entrenamiento resistido de esprint y una semana de post-test. Concretamente, los jugadores fueron asignados aleatoriamente (<http://www.randomizer.org>) a uno de los siguientes cuatro grupos: entrenamiento de esprint con resistencia vertical (VRS; $n = 11$), entrenamiento de esprint con resistencia horizontal (HRS; $n = 13$), entrenamiento de esprint con resistencia combinada (CRS; $n = 12$) y esprint sin resistencia (URS; $n = 12$). Durante el período de intervención se mantuvieron las prácticas normales del equipo y el programa de competición, que consta de 3 sesiones de entrenamiento y 1 partido por semana. Para monitorear la carga de entrenamiento interna, se registró al final de cada sesión de entrenamiento la escala subjetiva de percepción del esfuerzo (162). No se observaron diferencias entre los grupos en la carga interna de entrenamiento ($P = 0.853$).

8.2.2. Participantes

Se reclutaron sesenta jugadores de fútbol juvenil de género masculino, pero sólo cuarenta y ocho (edad: 18.3 ± 2.1 años; altura: 1.78 ± 0.05 m; peso: 72.7 ± 9.5 kg) completaron el estudio. Doce jugadores abandonaron el estudio por los siguientes motivos: no pudieron completar el 90% de las sesiones de entrenamiento ($n = 5$), sufrieron un evento adverso ($n = 1$) o una lesión en la extremidad inferior ($n = 2$), o ascendieron a un equipo de nivel superior ($n = 4$). Todos los jugadores tenían experiencia previa en entrenamiento resistido de esprint. Los criterios de inclusión fueron: no haber presentado lesiones en los últimos seis meses que limitaran la participación deportiva durante más de siete días ni haberse sometido a un programa de rehabilitación en los últimos seis meses y no presentar alguna condición médica que impidiera el esfuerzo máximo. Los participantes fueron informados sobre los procedimientos experimentales, los posibles riesgos y los beneficios asociados con la participación antes de firmar el formulario de consentimiento antes de las pruebas. El estudio se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Católica de Murcia.

Programa de entrenamiento. Todos los grupos de entrenamiento realizaron el mismo protocolo de entrenamiento resistido de esprint dos veces por semana en días no consecutivos (jornada -4 y jornada -2) durante un total de 8 semanas (16 sesiones). La principal diferencia entre los grupos de entrenamiento fue el equipamiento utilizado para aplicar la resistencia. Concretamente, el grupo VRS usó un chaleco lastrado (GetStrong, Get Strong Fitness SL, Ávila, España) en el que la resistencia se debe principalmente a la carga vertical, mientras que el grupo HRS usó un dispositivo portátil de resistencia robótica (1080 Sprint™, 1080 Motion, Lidingö, Suecia) con un servomotor (2000 RPM OMRON G5 Series Motor, OMRON Corporation, Kyoto, Japón) para proporcionar una resistencia horizontal unida al jugador mediante un cinturón pélvico. El grupo CRS combinó ambas modalidades de resistencia (chaleco ponderado y 1080 Sprint™), mientras que el grupo URS realizó el mismo protocolo de entrenamiento sin resistencia. El programa de entrenamiento siguió una periodización ondulatoria, combinando sesiones de esprint lineal (8 sesiones) y sesiones de COD (8 sesiones), que consistieron en esprint de slalom con COD de 100° cada intervalo de 5m. La carga externa máxima se estableció en el 20% del BM, independientemente del equipo

utilizado, según las recomendaciones de chaleco (160) y trineo (68) mostradas previamente. Dado que la carga horizontal se prescribió usando el 1080 Sprint™ (modo de resistencia isotónica), se utilizó un coeficiente de fricción estimado de 0.35 para convertir las recomendaciones del trineo en resistencia horizontal ($0.35 \cdot \%BM$). Todas las sesiones de entrenamiento fueron supervisadas por el investigador principal. El protocolo de entrenamiento resistido de esprint (Tabla 11) se realizó después de un calentamiento estándar al comienzo de las sesiones de entrenamiento.

Tabla 11. Programa de entrenamiento resistido.

Semana	Sesión	Tipo Sesión	Trabajo Específico						Carga	
			HRS	VRS	CRS	URS	Series x (repeticiones x distancia/recuperación repeticiones)/recuperación series	HRS/VRS/CRS/URS		
1	1	Esprint	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (2x20 m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	10% BM	BM
	2	COD	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	10% BM
2	3	COD	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
	4	Esprint	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM
3	5	COD	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	20% BM	BM
	6	Esprint	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	20% BM
4	7	COD	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
	8	Esprint	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM
5	9	Esprint	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
	10	COD	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM
6	11	COD	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	20% BM	BM
	12	Esprint	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	20% BM
7	13	Esprint	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
	14	COD	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM
8	15	Esprint	1080	Sprint	WV	WV	Nada	1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	10% BM	BM
	16	COD	1080	Sprint	WV	1080	Sprint	Nada	1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	10% BM

Abreviaturas: VRS = entrenamiento resistido vertical; HRS = entrenamiento resistido horizontal; CRS = entrenamiento resistido combinado; URS = entrenamiento sin carga; COD = sesión de cambio de dirección; WV = chaleco lastrado; BM = peso corporal.

8.2.3. Metodología

Las pruebas se realizaron en temporada, después de 2 días de descanso para limitar la influencia de la fatiga. Los jugadores llevaban su propio equipamiento deportivo durante las pruebas: ropa de entrenamiento y botas de fútbol. Antes de las pruebas, todos los jugadores realizaron un calentamiento estandarizado que consistió en 8 minutos de carrera de baja intensidad, 7 minutos de estiramiento dinámico activo, 3-4 saltos verticales submáximos y luego 3-4 esprints submáximos de no más de 30m con un descanso de 90 s entre ensayos. Posteriormente, todos los jugadores realizaron las pruebas de evaluación en el siguiente orden: salto horizontal (SLJ), salto con contramovimiento (CMJ), esprint de 30m y la prueba de COD en Zigzag con un descanso de 10 minutos entre prueba. Se completaron dos intentos para cada prueba y se seleccionó el mejor intento para el análisis. Todas las pruebas se realizaron en un campo de fútbol de césped artificial 3G al aire libre, excepto la prueba de CMJ que se realizó utilizando una plataforma de fuerzas sobre una superficie rígida en el mismo centro deportivo.

Prueba de SLJ. El SLJ se realizó de acuerdo a un protocolo descrito previamente (149). Los jugadores realizaron dos intentos submáximos y dos máximos ($CV = 3.2\%$), separados por un descanso de 90 s. La distancia ($SLJ_{Distance}$) se midió a los 0.01m más cercanos, utilizando el mejor intento para el análisis.

Prueba de CMJ. El CMJ se realizó en base a un protocolo descrito previamente (149). Los jugadores realizaron dos intentos submáximos y dos máximos ($CV = 3.8\%$) con un descanso de 90 s entre intentos. La profundidad del CMJ fue seleccionado por el propio jugador y se les pidió que intentaran aterrizar lo más cerca posible del punto de despegue. Los saltos se cuantificaron utilizando una plataforma de fuerzas portátil Kistler 9286BA (Kistler Group, Winterthur, Suiza). Concretamente, la altura del salto (CMJ_{Height}) y la potencia máxima (CMJ_{Pmax}) se calcularon utilizando el software ForceDeck (Vald Performance, Newstead, QLD, Australia). El intento con la mayor CMJ_{Height} se utilizó para el análisis.

Prueba de velocidad de 30m. Se realizaron dos esprints máximos de 30m ($CV = 0.9\%$) con al menos 5 minutos de descanso entre intentos. Cada prueba comenzó desde una posición en bipedestación con la pierna adelantada colocada

0.3m detrás de la línea de inicio y se animó a los jugadores a realizar cada carrera lo más rápido posible. El tiempo de esprint se midió utilizando fotocélulas del sistema WITTY de Microgate (Microgate, Bolzano, Italia) colocadas en la línea de inicio y en cada intervalo de 10m hasta 30m a una altura de 1m (157) para obtener mediciones del tiempo fraccionado de esprint (T_{0-30m} , T_{0-10m} , T_{10-20m} , T_{20-30m}) y para calcular la velocidad media de 0-20m (V_{Sprint}).

Además, un radar (Stalker ATS II; Applied Concepts, Richardson, TX, EEUU). Se colocó 5m detrás de la línea de inicio a una altura de 1m y se usó para medir la velocidad instantánea del esprint (frecuencia de muestreo de 47 Hz). El mejor tiempo de esprint se utilizó para el análisis.

Tabla 12. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en variables espaciotemporales de esprint.

	Grupo		Diferencias estandarizadas (90% CI)	Probabilidad (%)	Inferencias	P	
	Entrenamiento	Pre-Test Media \pm SD					
T _{0-10m}	HRS	2.11 \pm 0.03	2.08 \pm 0.02	-0.91 \pm 0.31	0/0/100	Moderate**** (positive)	<0.001
	VRS	2.10 \pm 0.07	2.07 \pm 0.06	-0.43 \pm 0.17	0/8/92	Small** (positive)	0.001
	CRS	2.11 \pm 0.03	2.08 \pm 0.03	-1.00 \pm 0.32	0/0/100	Moderate**** (positive)	<0.001
	URS	2.10 \pm 0.07	2.06 \pm 0.07	-0.51 \pm 0.15	0/0/100	Small***** (positive)	<0.001
T _{10-20m}	HRS	1.29 \pm 0.02	1.27 \pm 0.02	-0.74 \pm 0.34	0/1/99	Moderate*** (positive)	0.002
	VRS	1.27 \pm 0.05	1.25 \pm 0.05	-0.33 \pm 0.12	0/3/97	Small**** (positive)	<0.001
	CRS	1.28 \pm 0.03	1.26 \pm 0.03	-0.64 \pm 0.32	0/1/99	Moderate*** (positive)	0.004
	URS	1.27 \pm 0.06	1.25 \pm 0.05	-0.33 \pm 0.15	0/8/92	Small** (positive)	0.003
T _{20-30m}	HRS	1.21 \pm 0.03	1.20 \pm 0.03	-0.45 \pm 0.36	0/11/88	Small** (positive)	0.043
	VRS	1.19 \pm 0.05	1.17 \pm 0.05	-0.34 \pm 0.11	0/3/97	Small**** (positive)	<0.002
	CRS	1.20 \pm 0.03	1.19 \pm 0.03	-0.50 \pm 0.35	0/8/92	Small** (positive)	0.028
	URS	1.19 \pm 0.06	1.17 \pm 0.06	-0.31 \pm 0.14	0/10/90	Small** (positive)	0.003
T _{0-30m}	HRS	4.61 \pm 0.07	4.55 \pm 0.07	-0.76 \pm 0.32	0/0/100	Moderate**** (positive)	0.001
	VRS	4.55 \pm 0.17	4.49 \pm 0.16	-0.37 \pm 0.11	0/1/99	Small**** (positive)	<0.001
	CRS	4.59 \pm 0.09	4.52 \pm 0.08	-0.73 \pm 0.32	0/1/99	Moderate*** (positive)	0.002
	URS	4.56 \pm 0.19	4.49 \pm 0.17	-0.39 \pm 0.14	0/2/98	Small**** (positive)	<0.001

Abreviaturas: T_{0-10m} = tiempo de esprint 0-10m en s; T_{10-20m} = tiempo de esprint 10-20m en s; T_{20-30m} = tiempo de esprint 20-30m en s; T_{0-30m} = tiempo de esprint en s; V_{max} = máxima velocidad en m·s⁻¹; V₀ = máxima velocidad teórica en m·s⁻¹; HRS = entrenamiento resistido horizontal; VRS = entrenamiento resistido vertical; CRS = entrenamiento resistido combinado; URS = entrenamiento sin carga; SD = desviación estándar; CI = intervalo de confianza; Probabilidad = porcentaje de probabilidad de tener mejores/similares/peores valores como porcentaje; P = valor p. Las inferencias son: small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Evaluación cualitativa: *possibly (25-75%), likely (75-95%), very likely (95-99%) y almost certainly (>99%). Los indicadores positivos, triviales y negativos se refieren al efecto en el rendimiento del cambio entre los valores pre- y post- para cada variable específica.

Tabla 12 (Continuación)

Entrenamiento	Pre-Test		Post-Test		Diferencias estandarizadas (90% CI)	Probabilidad (%)	Inferencias	P
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD				
V_{max}	HRS	8.36 ± 0.21	8.47 ± 0.18	0.48 ± 0.33	92/8/0	Small*** (positive)	0.025	
	VRS	8.56 ± 0.41	8.68 ± 0.39	0.26 ± 0.12	82/18/0	Small*** (positive)	0.003	
	CRS	8.43 ± 0.23	8.56 ± 0.22	0.52 ± 0.35	94/6/0	Small*** (positive)	0.022	
	URS	8.51 ± 0.44	8.65 ± 0.41	0.28 ± 0.14	84/16/0	Small*** (positive)	0.004	
V₀	HRS	8.78 ± 0.25	8.90 ± 0.23	0.48 ± 0.34	92/8/0	Small*** (positive)	0.027	
	VRS	9.03 ± 0.49	9.17 ± 0.49	0.26 ± 0.12	77/23/0	Small*** (positive)	0.006	
	CRS	8.86 ± 0.28	9.01 ± 0.27	0.49 ± 0.36	92/8/0	Small*** (positive)	0.032	
	URS	8.96 ± 0.53	9.13 ± 0.50	0.30 ± 0.13	91/9/0	Small*** (positive)	0.002	

Abreviaturas: T_{0-10m} = tiempo de esprint 0-10m en s; T_{10-20m} = tiempo de esprint 10-20m en s; T_{20-30m} = tiempo de esprint 20-30m en s; T_{0-30m} = tiempo de esprint en 30m en s; V_{max} = máxima velocidad en m·s⁻¹; V₀ = máxima velocidad teórica en m·s⁻¹; HRS = entrenamiento resistido horizontal; VRS = entrenamiento resistido vertical; CRS = entrenamiento resistido combinado; URS = entrenamiento sin carga; SD = desviación estándar; P = valor p. Las inferencias son: small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Evaluación cualitativa: *possibly (25-75%), likely (75-95%), very likely (95-99%) y almost certainly (>99%). Los indicadores positivos, triviales y negativos se refieren al efecto en el rendimiento del cambio entre los valores pre- y post- para cada variable específica.

Luego, las variables mecánicas se calcularon utilizando un método de campo dinámico inverso válido y confiable recientemente establecido, basado en datos espaciotemporales y antropométricos (106). Concretamente, los datos brutos de velocidad-tiempo obtenidos del radar fueron ajustados por una función exponencial y derivados para calcular la GRF horizontal neta. Luego se extrapolaron las relaciones individuales F-V para calcular la F_0 (CV = 1.7%), la V_0 (CV = 1.2%) (106) y la P_{max} (Ecuación 1) (CV = 2.6%). La efectividad mecánica de la aplicación de fuerza se calculó como el RF_{max} (Ecuación 2) entre la GRF horizontal (F_H) y vertical (F_V), y la tasa de decremento en el RF (D_{RF}) (CV = 1.6%) (158) a medida que aumenta la velocidad. Concretamente, un RF_{max} mayor significa que el jugador puede dirigir más fuerza en la dirección horizontal al inicio del esprint. Además, una D_{RF} (pendiente) más negativa significa que el RF tiene una disminución mayor a medida que aumenta la velocidad de carrera (158).

$$P_{max} = \frac{F_0 \cdot V_0}{4} \text{ [Ecuación 1]}$$

$$RF = \frac{F_H}{\sqrt{F_H^2 + F_V^2}} \cdot 100 \text{ [Ecuación 2]}$$

Aplicamos esta metodología porque queríamos comparar estos resultados con estudios previos que utilizaron este enfoque. Sin embargo, asumimos que la potencia es una magnitud escalar, lo que significa que no tiene dirección, solo magnitud. Debido a que el movimiento ocurre en un espacio tridimensional euclidiano, el trabajo mecánico es colectivamente el resultado de tres dimensiones (163).

Tabla 13. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en variables cinéticas de esprint.

	Grupo Entrenamiento	Pre-Test Media \pm SD	Post-Test Media \pm SD	Diferencias estandarizadas (90% CI)	Probabilidad (%)	Inferencias	P
F₀	HRS	7.79 \pm 0.18	7.95 \pm 0.20	0.84 \pm 0.44	99/1/0	Moderate*** (positive)	0.006
	VRS	7.69 \pm 0.40	7.95 \pm 0.39	0.57 \pm 0.29	98/2/0	Small*** (positive)	0.005
	CRS	7.66 \pm 0.21	7.94 \pm 0.18	1.20 \pm 0.35	100/0/0	Moderate*** (positive)	<0.001
	URS	7.78 \pm 0.36	7.98 \pm 0.34	0.51 \pm 0.18	100/0/0	Small**** (positive)	<0.001
P_{max}	HRS	17.1 \pm 0.74	17.7 \pm 0.67	0.72 \pm 0.38	98/2/0	Moderate*** (positive)	0.005
	VRS	17.4 \pm 1.71	18.2 \pm 1.58	0.45 \pm 0.15	99/1/0	Small*** (positive)	<0.001
	CRS	17.0 \pm 0.85	17.9 \pm 0.75	0.97 \pm 0.31	100/0/0	Moderate*** (positive)	<0.001
	URS	17.4 \pm 1.77	18.2 \pm 1.66	0.41 \pm 0.14	99/1/0	Small*** (positive)	<0.001
RF_{max}	HRS	44.9 \pm 0.86	45.6 \pm 0.65	0.76 \pm 0.41	98/2/0	Moderate*** (positive)	0.006
	VRS	45.2 \pm 1.66	46.0 \pm 1.67	0.45 \pm 0.18	98/2/0	Small*** (positive)	0.001
	CRS	44.9 \pm 0.90	45.8 \pm 0.84	0.94 \pm 0.42	100/0/0	Moderate*** (positive)	0.002
	URS	45.3 \pm 1.92	46.3 \pm 1.77	0.44 \pm 0.17	99/1/0	Small*** (positive)	<0.001
D_{DF}	HRS	-8.29 \pm 0.25	-8.30 \pm 0.30	-0.02 \pm 0.43	21/53/26	Unclear	0.94
	VRS	-7.94 \pm 0.35	-8.05 \pm 0.44	-0.27 \pm 0.41	3/35/62	Small* (negative)	0.264
	CRS	-8.07 \pm 0.27	-8.19 \pm 0.28	-0.41 \pm 0.45	2/20/82	Small** (negative)	0.134
	URS	-8.10 \pm 0.29	-8.11 \pm 0.32	-0.04 \pm 0.24	5/81/13	Unclear	0.781

Abreviaturas: F₀ = fuerza horizontal máxima teórica en N·kg⁻¹; P_{max} = máxima potencia horizontal en W·kg⁻¹; RF_{max} = máximo ratio de fuerzas, como porcentaje; D_{DF} = decremento en el ratio de fuerzas, como porcentaje; HRS = entrenamiento resistido horizontal; VRS = entrenamiento resistido vertical; CRS = entrenamiento resistido combinado; URS = entrenamiento sin carga; SD = desviación estándar; CI = intervalo de confianza; Probabilidad = porcentaje de probabilidad de tener mejores/similares/peores valores como porcentaje; P = valor p. Las inferencias son: small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) y nearly perfect (>4.0). Evaluación cualitativa: *possibly (25–75%), likely (75–95%), very likely (95–99%) and almost certainly (>99%). Los indicadores positivos, triviales y negativos se refieren al efecto en el rendimiento del cambio entre los valores pre- y post- para cada variable específica.

Prueba de COD en Zigzag. La prueba de COD en Zigzag se realizó de acuerdo con los procedimientos estándar descritos previamente (85). Esta prueba consta de cuatro secciones de 5m marcadas con conos situados en ángulos de 100° que requieren que los jugadores desaceleren y aceleren lo más rápido posible alrededor de cada cono. El tiempo total (COD_{Time}) se midió utilizando fotocélulas (Sistema WITTY de Microgate) ubicadas en las líneas de inicio y final. Se realizaron dos intentos submáximos y dos máximos ($CV = 2.3\%$) con un descanso de 5 minutos entre los ensayos. Los jugadores comenzaron en bipedestación con el pie adelantado colocado 0.3m detrás del primer par de fotocélulas y se les indicó que completaran la prueba lo más rápido posible, hasta que cruzaran el segundo par de fotocélulas, colocadas a 20m de la línea de salida. El mejor COD_{Time} se utilizó para el análisis. Luego, para evaluar la eficacia de la capacidad de cada jugador para utilizar su velocidad lineal durante una tarea específica de COD (164), tanto la velocidad media de la prueba de COD (COD_{Speed}) como el déficit de COD ($COD_{Deficit}$) se calcularon a partir de las ecuaciones 3 y 4, respectivamente.

$$COD_{Speed} = \frac{20}{COD_{Time}} \text{ [Ecuación 3]}$$

$$COD_{Deficit} = V_{Sprint} - COD_{Speed} \text{ [Ecuación 4]}$$

Tabla 14. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en variables de capacidad de cambio de dirección.

COD	Entrenamiento	Pre-Test		Post-Test		Diferencias estandarizadas		Probabilidad (%)	Inferencias	P
		Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	(90% CI)				
COD _{Time}	HRS	4.97 ± 0.20	4.73 ± 0.25	4.73 ± 0.25	-1.22 ± 0.47	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001		
	VRS	4.90 ± 0.25	4.52 ± 0.21	4.52 ± 0.21	-1.47 ± 0.37	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001		
	CRS	4.98 ± 0.23	4.65 ± 0.18	4.65 ± 0.18	-1.39 ± 0.41	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001		
	URS	4.90 ± 0.28	4.74 ± 0.25	4.74 ± 0.25	-0.52 ± 0.39	0/0/100	Small** (positive)	0.035		
COD _{Speed}	HRS	4.03 ± 0.16	4.24 ± 0.21	4.24 ± 0.21	1.22 ± 0.47	100/0/0	Large**** (positive)	<0.001		
	VRS	4.09 ± 0.21	4.44 ± 0.21	4.44 ± 0.21	1.47 ± 0.37	100/0/0	Large**** (positive)	<0.001		
	CRS	4.02 ± 0.18	4.30 ± 0.16	4.30 ± 0.16	1.39 ± 0.41	100/0/0	Large**** (positive)	<0.001		
	URS	4.10 ± 0.23	4.23 ± 0.23	4.23 ± 0.23	0.52 ± 0.39	100/0/0	Small** (positive)	0.035		
COD _{Deficit}	HRS	1.86 ± 0.14	1.65 ± 0.24	1.65 ± 0.24	-1.67 ± 0.67	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001		
	VRS	1.86 ± 0.31	1.51 ± 0.26	1.51 ± 0.26	-1.13 ± 0.25	0/0/100	Moderate**** (positive)	<0.001		
	CRS	1.88 ± 0.19	1.60 ± 0.17	1.60 ± 0.17	-1.44 ± 0.39	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001		
	URS	1.85 ± 0.24	1.72 ± 0.23	1.72 ± 0.23	-0.53 ± 0.40	0/0/100	Small** (positive)	0.037		

Abreviaturas: COD_{Time} = tiempo prueba de cambio de dirección en s; COD_{Speed} = velocidad media en prueba de cambio de dirección en m·s⁻¹; COD_{Deficit} = déficit de velocidad de cambio de dirección en m·s⁻¹; HRS = entrenamiento resistido horizontal; VRS = entrenamiento resistido vertical; CRS = entrenamiento resistido combinado; URS = entrenamiento sin carga; SD = desviación estándar; CI = intervalo de confianza; Probabilidad = porcentaje de probabilidad de tener mejores/similares/peores valores como porcentaje; P = valor p. Las inferencias son: small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Evaluación cualitativa: *possibly (25–75%), likely (75–95%), very likely (95–99%) y almost certainly (>99%). Los indicadores positivos, triviales y negativos se refieren al efecto en el rendimiento del cambio entre los valores pre- y post- para cada variable específica.

Tabla 15. Diferencias pre-post intra-grupo e inferencias en variables de salto horizontal y vertical.

Grupo	Entrenamiento	Pre-Test		Post-Test		Diferencias estandarizadas (90% CI)	Probabilidad (%)	Inferencias	P
		Media \pm SD	Media \pm SD	Media \pm SD	Media \pm SD				
SLJ ^{Distance}	HRS	2.12 \pm 0.13	2.22 \pm 0.13	0.63 \pm 0.47	93/6/0	Moderate** (positive)	0.035		
	VRS	2.26 \pm 0.17	2.31 \pm 0.20	0.29 \pm 0.24	74/26/0	Small* (positive)	0.060		
	CRS	2.14 \pm 0.21	2.23 \pm 0.18	0.39 \pm 0.24	91/9/0	Small** (positive)	0.015		
	URS	2.17 \pm 0.14	2.20 \pm 0.20	0.14 \pm 0.41	40/52/8	Unclear	0.542		
CMJ ^{Pmax}	HRS	48.9 \pm 4.15	50.5 \pm 4.69	0.36 \pm 0.48	68/26/6	Unclear	0.298		
	VRS	51.5 \pm 7.00	53.8 \pm 6.03	0.30 \pm 0.15	87/13/0	Small* (positive)	0.005		
	CRS	48.4 \pm 4.62	52.7 \pm 6.69	0.81 \pm 0.37	99/1/0	Moderate*** (positive)	0.002		
	URS	50.2 \pm 7.73	53.1 \pm 6.05	0.38 \pm 0.26	88/12/0	Small** (positive)	0.023		
CMJ ^{Height}	HRS	35.2 \pm 3.83	35.4 \pm 4.71	0.02 \pm 0.40	22/61/17	Unclear	0.922		
	VRS	37.4 \pm 8.42	40.0 \pm 7.59	0.31 \pm 0.09	97/3/0	Small*** (positive)	<0.001		
	CRS	35.4 \pm 4.30	35.8 \pm 4.12	0.11 \pm 0.28	28/68/4	Trivial* (trivial)	0.499		
	URS	36.6 \pm 4.39	35.8 \pm 5.11	-0.20 \pm 0.38	4/47/49	Trivial* (negative)	0.371		

Abreviaturas: SLJ^{Distance} = distancia salto horizontal en m; CMJ^{Pmax} = máxima producción de potencia alcanzada en el salto con contramovimiento en W.kg⁻¹; CMJ^{Height} = máxima altura alcanzada en el salto con contramovimiento en cm; HRS = entrenamiento resistido horizontal; VRS = entrenamiento resistido vertical; CRS = entrenamiento resistido combinado; URS = entrenamiento sin carga; SD = desviación estándar; CI = intervalo de confianza; Probabilidad = porcentaje de probabilidad de tener mejores/similares/peores valores como porcentaje; P = valor p. Las inferencias son: small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Evaluación cualitativa: *possibly (25–75%), likely (75–95%), very likely (95–99%) and almost certainly (>99%). Los indicadores positivos, triviales y negativos se refieren al efecto en el rendimiento del cambio entre los valores pre- y post- para cada variable específica.

8.2.4. Análisis estadístico

Los estadísticos descriptivos se calcularon utilizando SPSS 21.0 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU). Los datos se presentan como media y SD. Todos los datos se transformaron logarítmicamente para el análisis de diferencias pre-post intra-grupo para reducir el sesgo que surge de los errores de no uniformidad de los datos y luego se analizaron para determinar su importancia práctica utilizando inferencias basadas en la magnitud (MBI) (120). El tamaño del efecto (CI 90%) para todas las variables dependientes se calculó utilizando la SD. La comparación entre grupos se realizó mediante una prueba ANCOVA en SPSS 21.0, utilizando los valores del pre-test como covariable para eliminar el posible sesgo, causado por el nivel inicial de cada grupo en las diferentes variables evaluadas. Los tamaños de efecto para la comparación entre grupos se determinaron convirtiendo el resultado de eta cuadrado parcial obtenido del ANCOVA a tamaño del efecto d de Cohen. Luego, se utilizó una hoja de cálculo personalizada (165) para convertir los valores P del ANCOVA y el efecto de la estadística a MBI. Los valores de umbral para el tamaño del efecto d de Cohen fueron los siguientes: >0.2 *small*, >0.6 *moderate*, >1.2 *large*, >2.0 *very large* y >4.0 *nearly perfect* (120).

La probabilidad de que cualquier diferencia fuera *greater*/mejor (es decir, mayor que el cambio más pequeño que merece la pena), [0.2 multiplicada por la SD entre sujetos, basada en el tamaño del efecto d de Cohen], similar o *poorer*/peor que el otro grupo, se calculó posteriormente (47). Las posibilidades cuantitativas de que un efecto sea *greater*/mejor o *poorer*/peor se evaluaron cualitativamente de la siguiente manera: $<1\%$, *almost certainly not*; $1-5\%$, *very unlikely*; $5-25\%$, *unlikely*; $25-75\%$, *possible*; $75-95\%$, *likely*; $95-99\%$, *very likely*; and $>99\%$, *almost certainly*. Si la probabilidad de tener *greater*/mejor y *poorer*/peor era $>5\%$, la verdadera diferencia se consideró poco clara o *unclear* (47). Si la probabilidad era $>75\%$, los datos se consideraron sustancialmente diferentes.

8.3. RESULTADOS

Las tablas 12 y 13 muestran las diferencias pre-post intra-grupo y las inferencias en las variables espaciotemporales y cinéticas del esprint, respectivamente. De la misma manera, las Tablas 14 y 15 muestran las diferencias

pre-post intra-grupo y las inferencias en las variables de COD y salto horizontal y vertical, respectivamente. Los resultados intra-grupo mostraron que todas las modalidades de entrenamiento resistido de esprint experimentaron mejoras en el rendimiento de esprint (*small a moderate*), siendo HRS y CRS los únicos grupos de entrenamiento que mostraron mejoras *moderate* para los intervalos de tiempo T_{0-10m} , T_{10-20m} y T_{0-30m} (Tabla 12). Además, los mismos grupos de entrenamiento (HRS y CRS) fueron los únicos que mostraron una mejora *moderate* en las variables cinéticas (F_0 , P_{max} y RF_{max}) (Tabla 13). También, se observaron mejoras *small a large* en la habilidad de COD (Tabla 14). Concretamente, se observaron efectos *large* para HRS, VRS y CRS (COD_{Time} , COD_{Speed} y $COD_{Deficit}$), con efectos *small* para el grupo URS (Tabla 14). Además, todos los grupos, excepto URS, mejoraron la capacidad del salto horizontal observándose mayor efecto (*moderate*) en HRS (Tabla 15). Sin embargo, sólo VRS (*small*) y CRS (*trivial a moderate*) mejoraron el rendimiento del salto vertical (Tabla 15). Las figuras 17, 18 y 19 muestran la comparación entre grupos en las variables de esprint, COD y salto horizontal y vertical, respectivamente. Los resultados de la comparación entre grupos, después de eliminar el posible sesgo causado por el diferente nivel inicial de cada grupo, revelaron que sólo VRS mejoró el tiempo de esprint (T_{0-10m} y T_{0-30m}) y la P_{max} en comparación con HRS (*moderate*) (Figura 17) y la capacidad de COD en comparación con todos los grupos (*moderate a large*) (Figura 18). Además, VRS mejoró el rendimiento del CMJ (*small a large*) en comparación con los otros grupos (Figura 19).

8.4. DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que compara los efectos de un programa de entrenamiento resistido de esprint utilizando diferentes equipamientos para proporcionar resistencia horizontal y vertical en jugadores de fútbol juvenil. Nuestros resultados muestran que 8 semanas de diferentes modalidades de entrenamiento resistido de esprint mejoran el rendimiento de esprint, la habilidad de COD y la capacidad de salto horizontal y vertical en jugadores de fútbol juvenil. Todos los grupos con resistencia adicional (HRS, VRS y CRS) mejoraron el rendimiento en el COD (*large*). El rendimiento de salto mejoró en función de la dirección de la resistencia aplicada, mostrando HRS mejoras *moderate* en el SLJ y; VRS y CRS mejoras *small a moderate* en el CMJ.

Después de eliminar el sesgo causado por el diferente nivel inicial de los grupos de entrenamiento, la comparación entre grupos mostró que el VRS tuvo la mayor mejora en el rendimiento de esprint, la habilidad de COD y la capacidad de CMJ.

Todos los grupos de entrenamiento experimentaron mejoras *small* a *moderate* en el rendimiento del esprint, observándose una disminución en los tiempos parciales T_{0-10m} , T_{10-20m} , T_{20-30m} y T_{0-30m} . Del mismo modo, se observaron mejoras *small* en la V_{max} y la V_0 . Estos resultados van en la línea de estudios previos que han explorado el efecto del RST sobre el rendimiento del esprint (65, 76, 77, 84, 86, 103, 122, 125). Además, se observaron mejoras *small* a *moderate* en la F_0 y la P_{max} en todos los grupos de entrenamiento. La efectividad de aplicación de fuerza contra el suelo, determinada por el RF_{max} y la D_{RF} , mostró incrementos *small* a *moderate* en el RF_{max} para todos los grupos de entrenamiento. Estos hallazgos podrían explicarse dada la alta especificidad del programa de entrenamiento resistido de esprint, independientemente de la modalidad de resistencia utilizada y su dirección; ya que el esprint es el mejor estímulo para mejorar el esprint (68). En general, las comparaciones entre grupos (Figura 17) mostraron resultados poco claros (*unclear*), a excepción de las mediciones de tiempos parciales (T_{0-10m} y T_{0-30m}), donde VRS obtuvo mayores mejoras (*moderate*) en comparación con HRS. De manera similar, se encontraron mayores incrementos (*moderate*) en la P_{max} a favor de URS, CRS y VRS en comparación con HRS. Estos hallazgos son sorprendentes teniendo en cuenta la importancia de las fuerzas propulsoras horizontales, especialmente en la fase de aceleración del esprint (26). Sin embargo, es importante saber que las GRF son ligeramente diferentes cuando el esprint se inicia desde los bloques de salida y cuando se inicia en bipedestación y con una pierna adelantada. Además, aunque VRS proporciona al atleta un estímulo de sobrecarga más vertical, el esprint es una tarea orientada horizontalmente y, por lo tanto, el jugador también tiene que impulsar esta sobrecarga hacia adelante con el resto de su cuerpo. Concretamente, la orientación de las GRF cambia a una orientación más vertical a medida que se pasa de la fase de aceleración a la fase de máxima velocidad (o como aumento de la velocidad de carrera) en el esprint, siendo el impulso y la GRF resultante diagonal, cuando el esprint se inicia desde los bloques (26, 32, 33) y casi vertical cuando comienza en movimiento (48). Por lo tanto, en el fútbol donde la mayoría de los esprints comienzan con una velocidad inicial (48), VRS podría ofrecer un

estímulo más específico que podría explicar los hallazgos encontrados en este estudio. Además, VRS proporciona mayor estímulo de sobrecarga que la misma magnitud de carga en la dirección horizontal, debido al efecto agregado de la gravedad. De hecho, hubo un incremento mayor de la P_{max} con un efecto *moderate* a favor de VRS en comparación con HRS, que podría ser causada por este efecto.

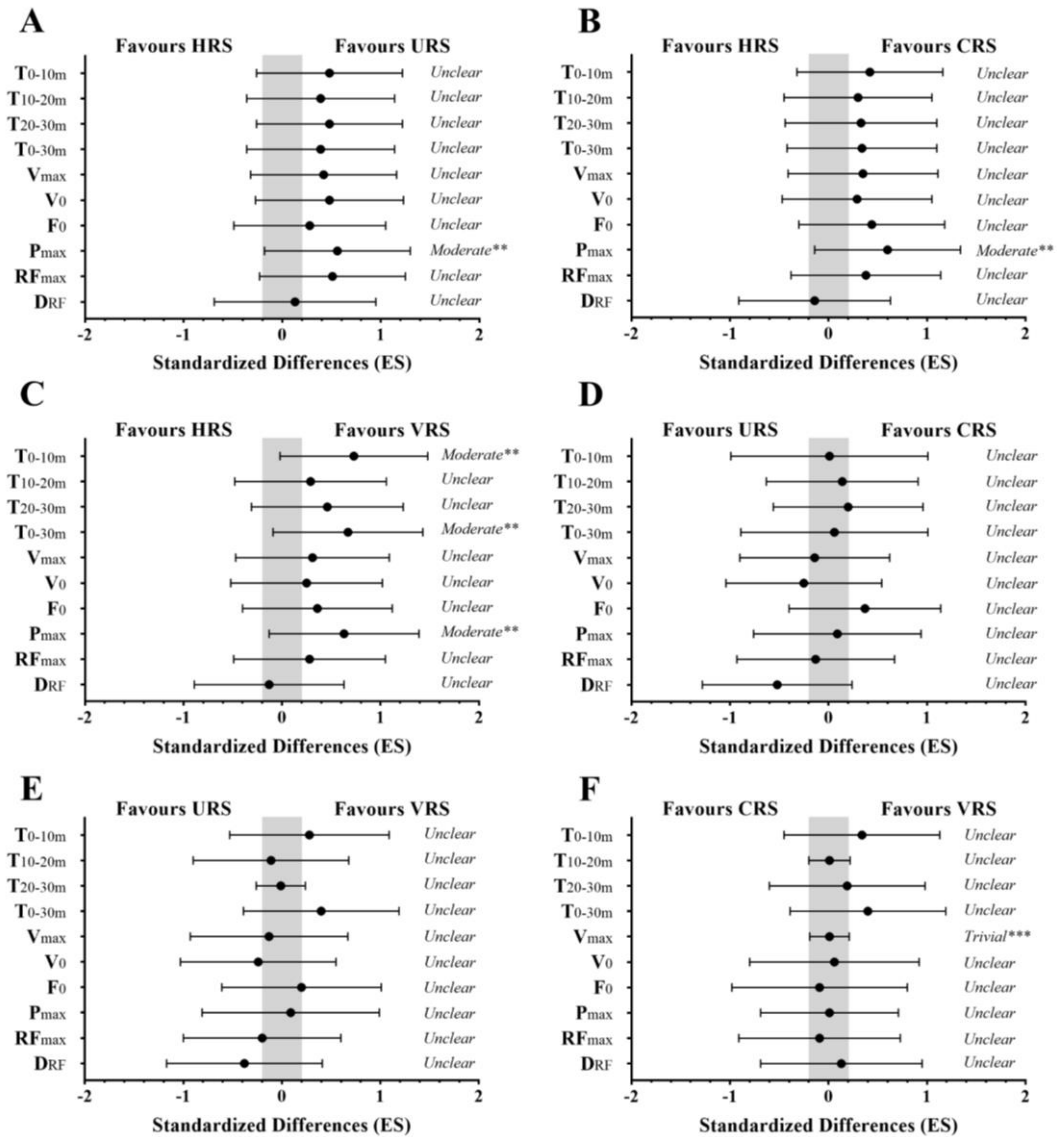


Figura 17. Comparación entre grupos del rendimiento en esprint.

Las barras indican la incertidumbre en los cambios medios verdaderos con CI del 90%. Abreviaturas: T_{0-10m} = tiempo desde el punto de inicio hasta 10m (s); T_{10-20m} = tiempo de 10m a 20m (s); T_{20-30m} = tiempo de 20m a 30m (s); T_{0-30m} = tiempo de

esprint en 30m (s); V_{\max} = velocidad máxima de esprint ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); V_0 = velocidad máxima teórica de esprint ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); F_0 = fuerza horizontal máxima teórica ($\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$); P_{\max} = potencia horizontal máxima ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$); RF_{\max} = ratio máximo de fuerzas (%); DRF = tasa de decremento del ratio de fuerzas (%); HRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia horizontal; URS = entrenamiento de esprint sin carga; CRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia combinada; VRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia vertical. Tamaño del efecto (ES). Las inferencias son: *small* (>0.2), *moderate* (>0.6), *large* (>1.2), *very large* (>2.0) and *nearly perfect* (>4.0). Evaluación cualitativa: **possibly* (25–75%), ***likely* (75–95%), ****very likely* (95–99%) and *****almost certainly* ($>99\%$).

Tanto el COD_{Time} como la $\text{COD}_{\text{Speed}}$ mejoraron (*small a large*) para todos los grupos de entrenamiento. Estos resultados están de acuerdo con los hallazgos encontrados en estudios anteriores que analizaron los efectos del RST sobre la habilidad de COD (85, 86). De hecho, un estudio reciente informó una mejora en el rendimiento del COD después de 6 semanas de WVT (87). La eficacia de la capacidad de cada jugador para utilizar su velocidad lineal durante una tarea específica de COD, evaluada por el $\text{COD}_{\text{Deficit}}$, mostró una mejora (*small a large*), en todos los grupos. Estos resultados podrían explicarse por una mejora en la técnica de COD y la mejora de la capacidad de aceleración, como se informó anteriormente (51). La comparación entre grupos (Figura 2) reveló mejoras *moderate a large* en el COD_{Time} y la $\text{COD}_{\text{Speed}}$ a favor de VRS. Estos hallazgos van en la línea de los reportados por Rodríguez-Osorio y coautores (87), que también mostraron mejoras después de 6 semanas de WVT. Además, CRS experimentó mayores mejoras en el COD_{Time} y la $\text{COD}_{\text{Speed}}$ en comparación con URS. Además, VRS mostró un $\text{COD}_{\text{Deficit}}$ menor *moderate a large* en comparación con HRS y URS. Estas mejoras en la habilidad de COD observadas en VRS, pueden ser resultado de una mayor demanda excéntrica en los músculos extensores durante la fase de frenado, debido a la resistencia orientada verticalmente. Del mismo modo, WVT supone una mayor demanda durante la fase de frenado después del esprint que con la carga horizontal, lo que podría influir en la función neuromuscular excéntrica con una transferencia muy positiva a la capacidad de COD. Sin embargo, la técnica y la distancia de frenado no se controlaron en este estudio.

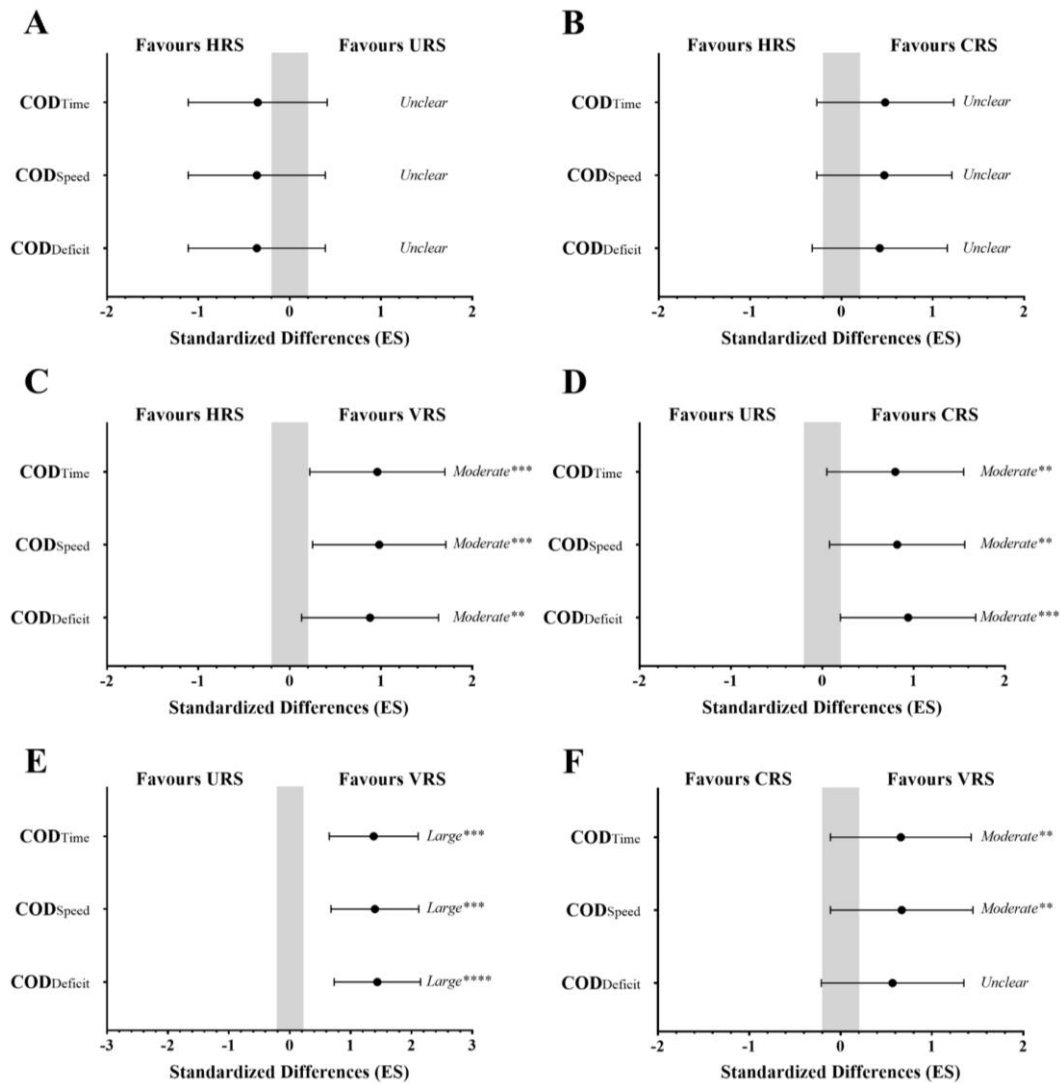


Figura 18. Comparación entre grupos del rendimiento en cambio de dirección. Las barras indican la incertidumbre en los cambios medios verdaderos con CI del 90%. Abreviaturas: COD_{Time} = tiempo prueba de COD (s); COD_{Speed} = velocidad media prueba de COD (m·s⁻¹); COD_{Deficit} = déficit de velocidad de cambio de dirección (m·s⁻¹); HRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia horizontal; URS = entrenamiento de esprint sin carga; CRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia combinada; VRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia vertical. Tamaño del efecto (ES). Las inferencias son: *small* (>0.2), *moderate* (>0.6), *large* (>1.2), *very large* (>2.0) and *nearly perfect* (>4.0).

Evaluación cualitativa: **possibly* (25–75%), ***likely* (75–95%), ****very likely* (95–99%) and *****almost certainly* (>99%).

Con respecto a la capacidad de salto, todos los grupos de entrenamiento, excepto URS, tuvieron mejoras *small* a *moderate* en la SLJ_{Distance}. Sin embargo, la comparación entre grupos (Figura 17) solo reveló mejoras mayores *small* a *large* a favor de CRS en comparación con URS en la SLJ_{Distance}. Estos resultados podrían explicarse por la sobrecarga mecánica adicional experimentada por los grupos HRS, VRS y CRS. Adicionalmente, VRS mostró mejoras *small* en la CMJ_{Height}. La comparación entre grupos reveló mejoras mayores *moderate* a favor de CRS en contraste con VRS y HRS en la CMJ_{Pmax}. Sin embargo, sólo VRS mostró mayores mejoras en la CMJ_{Height} en comparación con HRS (*small*), CRS (*large*) y URS (*large*), lo que podría deberse a la sobrecarga vertical específica experimentada por VRS, ya que la GRF vertical es un componente cinético clave en las acciones explosivas verticales (Figura 3) (166).

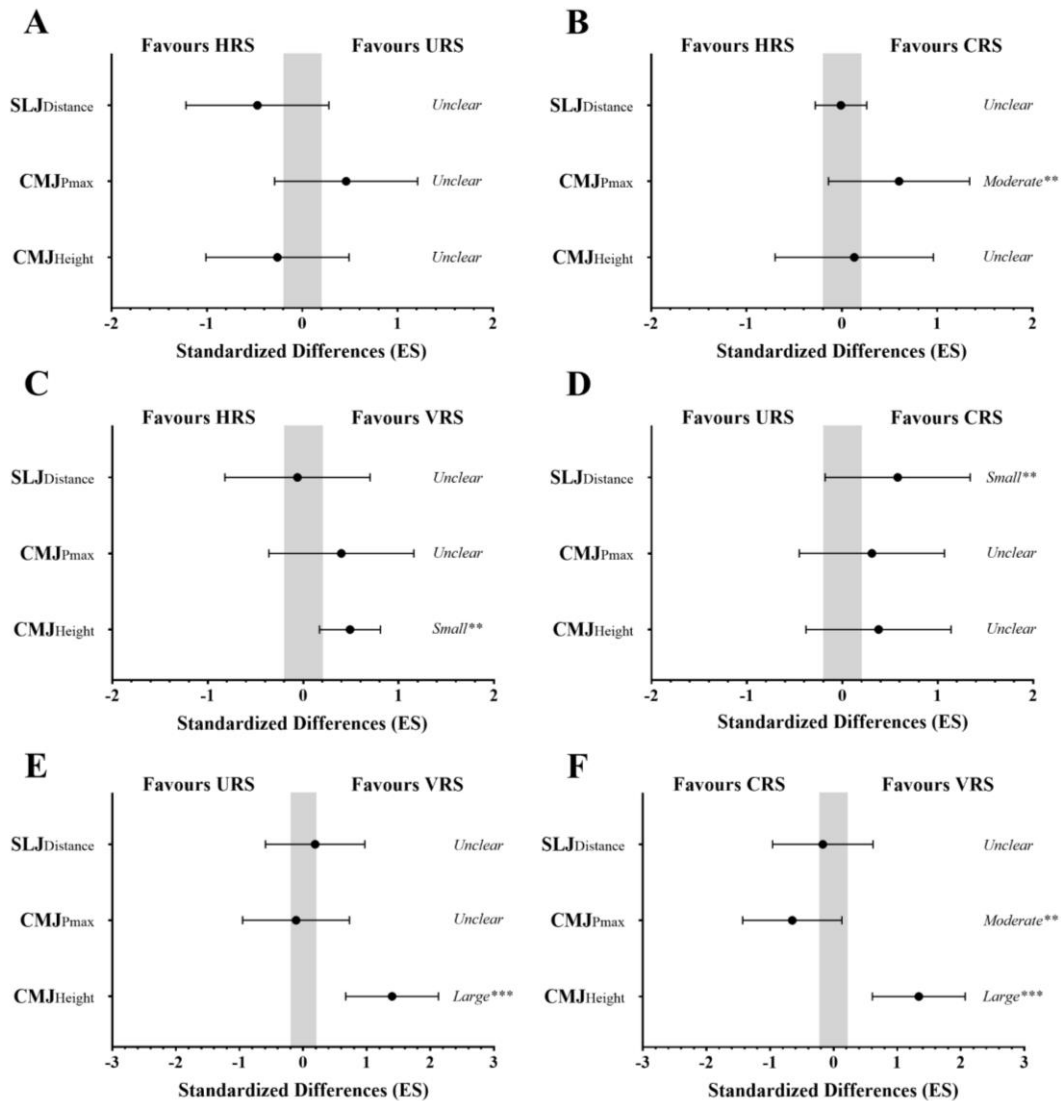


Figura 19. Comparación entre grupos del rendimiento de salto horizontal y vertical.

Las barras indican la incertidumbre en los cambios medios verdaderos con CI del 90%. Abreviaturas: SLJ_{Distance} = distancia de salto largo permanente (m); CMJ_{Pmax} = producción de potencia máxima alcanzada en el salto de contramovimiento ($W \cdot kg^{-1}$); CMJ_{Height} = altura máxima de salto alcanzada en el salto de contramovimiento (cm); HRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia horizontal; URS = entrenamiento de esprint sin carga; CRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia combinada; VRS = entrenamiento resistido de esprint con resistencia vertical. Tamaño del efecto (ES). Las inferencias son: *small*

(>0.2), *moderate* (>0.6), *large* (>1.2), *very large* (>2.0) and *nearly perfect* (>4.0). Evaluación cualitativa: **possibly* (25–75%), ***likely* (75–95%), ****very likely* (95–99%) and *****almost certainly* (>99%).

En resumen, los resultados de este estudio indican que la combinación de entrenamiento resistido de esprint con o sin COD, independientemente de la dirección de carga, es una buena opción para mejorar el rendimiento del esprint y la habilidad de COD en jugadores de fútbol juvenil. Sin embargo, VRS puede ser un mejor estímulo de entrenamiento teniendo en cuenta las mejoras observadas en el rendimiento de esprint, la habilidad de COD y la capacidad de salto.

Las principales limitaciones del presente estudio son: (1) que el método de cálculo utilizado para calcular las variables cinéticas en el esprint sólo considera las componentes horizontales de fuerza y potencia, (2) el alto abandono experimental durante el período de intervención que redujo la muestra de los grupos, y (3) que la dirección de la fuerza horizontal en el COD no fue específica ni estaba orientada horizontalmente en relación con el giro. Por lo tanto, se necesitan futuros estudios para explorar las adaptaciones provocadas por los métodos de entrenamiento descritos en el presente estudio, porque no hay investigaciones previas que incluyan equipos alternativos a un trineo, ni uno que compare el efecto de diferentes modalidades de entrenamiento resistido de esprint con carga vertical y horizontal. Además, debe establecerse la dosis de entrenamiento requerida para mejorar el rendimiento en las diferentes habilidades utilizando estas modalidades de entrenamiento.

8.5. APLICACIONES PRÁCTICAS

Este estudio proporciona información importante sobre los efectos del uso de resistencia horizontal y vertical en el entrenamiento resistido sobre el rendimiento de esprint, la habilidad de COD y la capacidad de salto en jugadores de fútbol juvenil. Los hallazgos que se presentan en este estudio pueden ayudar a los entrenadores y preparadores físicos a seleccionar la intervención de entrenamiento resistido de esprint que les permita mejorar el rendimiento del esprint y COD en sus atletas. Nuestros resultados muestran que el entrenamiento resistido de esprint con resistencia orientada verticalmente y cargas que oscilen entre el 10 y el 20% del BM es la mejor opción para mejorar el rendimiento de

esprint y COD con un efecto positivo adicional sobre el rendimiento de salto en jugadores de fútbol juvenil. Sin embargo, el entrenamiento resistido de esprint con resistencia de orientación horizontal o la combinación de ambas son buenas opciones para mejorar el rendimiento de esprint y COD.

8.6. CONCLUSIONES

La aplicación de resistencia tanto horizontal como vertical en el entrenamiento resistido de esprint mejora el rendimiento en el esprint y el COD. No obstante, la carga orientada verticalmente (chaleco lastrado) promovió mayores mejoras en el rendimiento de esprint y la capacidad de COD y, además, tuvo un efecto adicional positivo sobre la capacidad de salto vertical.

IX – DISCUSIÓN GENERAL

CAPÍTULO IX. DISCUSIÓN GENERAL

El entrenamiento resistido ha sido y es uno de los métodos de entrenamiento más utilizados por los entrenadores y profesionales de la preparación física. El objetivo principal del uso de estos métodos de entrenamiento es producir adaptaciones específicas con el fin de mejorar el rendimiento de sus atletas, especialmente de la potencia del tren inferior, la velocidad de carrera y el salto. Sin embargo, a pesar de la amplia gama de modalidades existentes, en la actualidad, el conocimiento se resume a los efectos del RST, puesto que, ha sido y sigue siendo la modalidad de protocolos resistidos más estudiada y con mayores evidencias. A pesar de ello, se ha generado una gran controversia tanto dentro de la comunidad científica como en el propio campo del entrenamiento, con respecto a cuál sería el protocolo de entrenamiento óptimo y las características que debería presentar este. Esto se debe principalmente a la gran cantidad de variables manipulables (carga adicional, distancia, fricción, etc.) cuando se utiliza un trineo como resistencia (68). En cambio, en lo que se refiere a otras modalidades de entrenamiento resistido (por ejemplo: chaleco lastrado, paracaídas, carrera en cuesta...), el conocimiento existente se resume a la propia experiencia de los entrenadores y preparadores físicos, con alguna evidencia sobre los efectos agudos que produce la manipulación de la carga (79, 100, 167, 168).

Por ello, los objetivos principales de la presente tesis doctoral fueron: 1) revisar el estado de la literatura en relación a los efectos y adaptaciones de diferentes modalidades de entrenamiento resistido sobre el rendimiento de esprint; 2) diseñar una herramienta para el control y la prescripción del WVT con base en la pérdida de velocidad y altura de salto en condiciones descargadas, respectivamente; 3) describir los efectos agudos del incremento de la carga en el WVT sobre parámetros espacio-temporales y cinéticos tanto en el esprint como el salto vertical y; por último, 4) comparar los efectos y adaptaciones de diferentes modalidades de entrenamiento resistido y la combinación de ellas sobre el rendimiento en el esprint, la habilidad para cambiar de dirección y el salto, todos ellos factores clave del rendimiento en deportes como el fútbol (20).

El estudio 1 (68) tuvo como objetivo principal revisar la literatura existente en relación a los efectos y adaptaciones del entrenamiento resistido sobre el rendimiento de esprint, tanto en la fase de aceleración como de máxima de velocidad. Sin embargo, una vez realizada la búsqueda, se detectó que los únicos estudios que incluían intervenciones de entrenamiento utilizaban RST. Por este motivo, el objetivo se redujo a determinar si el RST mejoraba de manera efectiva el rendimiento de esprint, tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad. Además, se intentó establecer qué características debería tener un protocolo de RST para favorecer las mejores adaptaciones en el rendimiento de los atletas. El principal hallazgo de este meta-análisis mostró que el RST induce mejoras en el rendimiento de esprint, principalmente para la fase de aceleración temprana. Sin embargo, su efecto es *trivial* o *small* para la fase de máxima velocidad o en sprints de distancias superiores a 20 m. Además, no se observó ningún beneficio adicional cuando se comparó el RST con las condiciones de URS. Además, se observó que la magnitud de su efecto sobre el rendimiento de esprint podía estar relacionada tanto con las características propias de los atletas (edad, sexo, nivel de entrenamiento, etc.) como con las características del entrenamiento (volumen, intensidad, frecuencia, duración, superficie, etc.).

Concretamente, en relación a la fase de aceleración, tal y como se menciona en el Capítulo V de este trabajo, el RST es un método apropiado para mejorar la fase de aceleración temprana del esprint (definida como el tramo de 0-10 m), con un efecto *moderate* y significativo. Sin embargo, no es más efectivo que realizar el mismo entrenamiento de esprint sin sobrecarga. Estos resultados pueden explicarse porque la mayoría de los estudios utilizan cargas cercanas al propio peso corporal del atleta, lo que hace que las diferencias en la carga sean muy pequeñas. Este hecho ha llevado a algunos investigadores (105, 125) a pensar que quizás sea necesario el uso de cargas más pesadas para obtener mejoras significativamente mayores con respecto al uso de cargas más ligeras. Sin embargo, dado el escaso número de estudios que utilizan cargas superiores al 20% del BM, el efecto es similar (ES = 0.61 *versus* ES = 0.63, respectivamente); sin embargo, el efecto pre-post entrenamiento no es significativo para las cargas pesadas. Este hecho puede explicarse por algunas de las principales características que hacen que el ser humano pueda correr a gran velocidad, tales como las propiedades mecánicas musculares (es decir, el SSC, la RFD o el reflejo

H, entre otros). No cabe duda que tanto el SSC como el reflejo H se pueden desarrollar en situaciones donde se replican los patrones específicos de movimiento y se cumple el principio de especificidad de la carga (127). Por lo tanto, un exceso de carga puede limitar el desarrollo del SSC y, en menor grado, el acoplamiento del reflejo H, a pesar de los intentos del atleta por mantener el patrón de movimiento específico de la acción en cuestión. Por otro lado, se ha observado que el músculo funciona casi isométricamente durante la carrera de esprint (128, 129), lo que permite una mayor elongación del tendón a medida que aumenta la intensidad de la carga (130) y, por tanto, que el tendón actúe como amplificador de la potencia cuando se recupera a velocidades muy altas (131, 132). Por lo tanto, si tenemos en cuenta que las demandas de los tendones dependen de la velocidad de movimiento, las adaptaciones inducidas también dependerán de la velocidad. Esto parece explicar también por qué el RST es mucho más efectivo para mejorar la fase de aceleración que para la fase de máxima velocidad del esprint, donde la velocidad de movimiento, el SSC y el reflejo H resultan fundamentales (127). Es decir, en la fase de aceleración, el tiempo de contacto es mayor que durante la fase de máxima velocidad, como lo es también la aplicación de fuerza horizontal y el ratio GRF horizontales:verticales. Además, se ha sugerido que incrementos en la fuerza máxima contribuyen a una mayor probabilidad de aumentar el rendimiento de esprint en distancias cortas (~5 m) (133).

Una de las variables más analizadas y que ha generado la mayor discrepancia entre la comunidad científica en los últimos años, es la carga adicional que se debe utilizar en el RST; pudiendo diferenciar dos corrientes completamente opuestas. Algunos autores (104) han demostrado que la máxima producción de potencia se da cuando se utilizan cargas próximas al 20% del BM, mientras que otros autores han sugerido que la máxima producción de potencia se puede lograr con cargas del 69-96% del BM (105). No obstante, se debe señalar que Monte y coautores (104) calcularon y examinaron la carga que maximizaba la potencia mecánica con velocistas y para un esprint completo (~20 m), analizando además el efecto de las diferentes magnitudes de carga sobre el patrón de movimiento del atleta. Sin embargo, Cross y coautores (105) calcularon la P_{max} con atletas de deportes de equipo y justo en el momento en que se alcanzaba la V_{max} de carrera, sin analizar el efecto de las cargas sobre la técnica de esprint. En

cualquier caso, no está claro, que el RST con la carga que produce la P_{\max} sea el método más efectivo y apropiado para mejorar el rendimiento del esprint. Por lo tanto, se necesita más investigación al respecto.

Además, este meta-análisis (68) indicó que el efecto sobre la mejora del rendimiento de esprint fue *moderate* al comparar cargas inferiores al 20% del BM con cargas iguales o superiores al 20% del BM, sin mostrar mejoras significativas con el uso de cargas iguales o superiores al 20% del BM. De hecho, solo tres de los grupos (103, 122, 125) analizados en este meta-análisis incluyeron cargas iguales o superiores al 20% del BM y estaban formados por atletas de deportes de equipo. Con base en estos resultados, no se puede concluir que el uso de cargas pesadas o muy pesadas sea más efectivo que el uso de cargas ligeras. De hecho, el único estudio que utilizó cargas muy pesadas (~80% del BM) (125) encontró una mejora del rendimiento en el esprint en 5 y 20 m, *small* y *trivial*, respectivamente; siendo similar a las mejoras encontradas en el grupo de URS. Concretamente, Morin y coautores (125) sólo mostraron un incremento *moderate* de la F_0 (es decir, la fuerza a velocidad cero), pero no en la V_0 , utilizando el modelo de cálculo propuesto por los mismos autores (106). Esto parece indicar, que el uso de RST con cargas muy pesadas sólo tendría justificación como método terciario, es decir, cuando el objetivo sea la mejora de la fuerza a velocidades bajas o casi nulas, "simulando" el patrón de movimiento y sólo con atletas que pueden mantenerlo sin alteración significativa. Sin embargo, el uso de magnitudes tan altas de carga se alejaría del principio de especificidad de carga y velocidad, ambas decisivas en el entrenamiento de *optimal load*, como explican Cormie y coautores (56) en su revisión narrativa sobre esta temática. Otro inconveniente que puede ocasionar el uso de cargas excesivas es la "inhibición" del SSC y el reflejo H, es decir, que no se activen adecuadamente. De hecho, los ejercicios dirigidos a la mejora del SSC deben cumplir dos criterios fundamentales (31, 135-138): (1) involucrar movimientos hábiles y multiarticulares que transmitan fuerzas a través de la cadena cinética y exploten mecanismos elástico-reflejos; y (2) estructurarse alrededor de sesiones de trabajo breves o bloques separados por períodos de descanso frecuentes para controlar la fatiga y enfatizar la calidad y técnica del trabajo sobre la cantidad del mismo.

Otro aspecto relevante y que se debe considerar, es el incremento de la rigidez o *stiffness* músculo-articular que surge de la exposición crónica a los

movimientos que incluyen el SSC, y que resulta en una ventaja fisiológica potencial para el rendimiento de esprint (139). De hecho, un desarrollo óptimo de la rigidez mecánica o *stiffness* de la pierna tiene un efecto positivo muy importante en numerosas variables atléticas como la RFD, el almacenamiento y utilización de energía elástica y, consecuentemente, el SSC y la cinemática de esprint (es decir, tiempo de contacto, tiempo de vuelo, amplitud y frecuencia de zancada, etc.) (140). No obstante, los efectos del RST sobre la rigidez o *stiffness* sólo han sido analizados por Alcaraz y coautores (69), mostrando una ligera reducción no significativa de la rigidez, tras un período de entrenamiento de 4 semanas con cargas ligeras. Este mismo estudio indicó que el grupo de URS experimentó una mejora en la rigidez o *stiffness* cercana a la significación, lo que podría sugerir que aquel entrenamiento que respeta el principio de especificidad puede tener un efecto positivo sobre la rigidez o *stiffness*, mientras que aumentar la carga puede tener un efecto contrario. Con base en estos hallazgos y las recomendaciones relativas al uso de un enfoque de métodos mixtos (basado en el uso de una amplia variedad de cargas y tipos de ejercicio de forma periódica para optimizar la producción de potencia), el entrenamiento con cargas elevadas podría ser una alternativa al entrenamiento de fuerza tradicional, de modo que, se simule los patrones del esprint para mejorar la fuerza máxima. Sin embargo, siempre que el objetivo sea trabajar en el área de la curva F-V cercano a las demandas de la competición, el RST debe realizarse con cargas ligeras para desarrollar todos los mecanismos involucrados en la situación real (RFD, SSC, reflejo H, *stiffness* de la pierna...).

El perfil individual de los deportistas es otro de los aspectos fundamentales que se debe tener en cuenta a la hora de elegir unos método de entrenamiento u otros, ya que, la edad, el sexo, el nivel de entrenamiento, e incluso, las demandas de la modalidad deportiva de los atletas puede determinar e influir sobre el desarrollo o no de adaptaciones, así como la magnitud de las mismas. En relación a esto, el estudio 1 (68) sólo mostró diferencias significativas en el nivel de los participantes, siendo mayor el efecto en atletas recreacionalmente activos (ES = 0.75) y entrenados (ES = 0.84), que en deportistas con un nivel elevado de entrenamiento (ES = 0.30). Estos resultados pueden explicarse con el hecho de que los atletas con mayor nivel de entrenamiento tienen un margen de mejora menor cuando se someten a cualquier protocolo de entrenamiento, puesto que, parten de

un nivel de desarrollo relativo de las capacidades mayor (141). Además, se ha observado que, cuando se aplica el RST para mejorar la capacidad de aceleración, el efecto es mayor en atletas de deportes de equipo ($ES = 0.66$), que en atletas de deportes individuales ($ES = 0.23$). No obstante, es necesario considerar que sólo se incluyó un estudio (124) que analizara los efectos del RST en deportistas individuales (velocistas y saltadores). Por lo tanto, son necesarios más estudios en este tipo de población, ya que el RST se usa regularmente en el diseño de planes de entrenamiento en atletismo, especialmente en disciplinas de F-V, y es necesaria la comprensión de los efectos que produce el RST para programarlo de forma adecuada durante la temporada. Respecto a los deportistas de equipo, se recomienda claramente el RST para mejorar la fase de aceleración temprana, sobre todo en deportes como el fútbol o el rugby, ya que el esprint es la acción más frecuente a la hora de marcar gol o asistir a otros jugadores para ello (20), más aun teniendo en cuenta que, la distancia total recorrida a esprint y el número total de sprints realizados durante la competición han incrementado significativamente durante la última década (44).

Pero quizás el aspecto más relevante a la hora de programar RST sea encontrar cuáles son las características óptimas para producir las mayores adaptaciones cuando se usa RST. En relación a ello, se observó que frecuencias semanales de entrenamiento superiores a 2 días producen un efecto significativamente mayor que las frecuencias inferiores o iguales a 2 días por semana ($ES = 1.85$ versus $ES = 0.52$). Sin embargo, tan sólo uno de los estudios incluidos en el meta-análisis (120) aplicó una frecuencia superior a 2 días de entrenamiento por semana (3 días por semana) y, además, se realizó con estudiantes de educación física, que a priori parten con un menor nivel de rendimiento y, consecuentemente, presentan un mayor potencial de mejora que atletas con un nivel alto de entrenamiento. Por tanto, frecuencias de entrenamiento de 2-3 días por semana pueden ser óptimas para desarrollar la capacidad de aceleración cuando se utiliza RST. Con respecto a la duración del programa, los resultados indican que intervenciones superiores a 6 semanas favorecen el desarrollo de mayores adaptaciones ($ES = 0.63$, $P < 0.001$), mientras que aquellas de duración inferior o igual a 6 semanas, no mostraron mejoras significativas. Esto puede deberse a que intervenciones demasiado cortas no producen suficientes adaptaciones neuromusculares y mecánicas para tener un

efecto positivo significativo sobre el rendimiento de esprint (9). En consecuencia, al diseñar un programa para el desarrollo del rendimiento de esprint mediante RST, con base en estos resultados, se recomienda una duración superior a 6 semanas. Otra variable que debe considerarse es el volumen, tanto de la sesión como del ciclo completo de entrenamiento. En este caso, volúmenes iguales o superiores a 160 m por sesión mostraron ser más adecuados que aquellos inferiores a 160 m por sesión ($ES = 0.92$ *versus* $ES = 0.46$, respectivamente). De igual forma, al comparar volúmenes totales de entrenamiento, los volúmenes mayores (> 2680 m) produjeron un efecto mayor ($ES = 0.83$) en comparación con volúmenes de entre 720-2680 m ($ES = 0.53$), aunque los efectos fueron estadísticamente significativos para ambos. Por lo tanto, volúmenes ligeramente más elevados, tanto por sesión como por ciclo de entrenamiento, producen un efecto positivo mayor sobre el rendimiento de esprint cuando se usa RST. Sin embargo, no queda claro que el volumen sea tan importante como las variables analizadas previamente.

Otro de los aspectos observados en el meta-análisis es el posible efecto de la superficie de rodadura del trineo utilizada para el RST. Los resultados muestran que, en el caso de la fase de aceleración temprana, este efecto difiere según la superficie utilizada, siendo mayor el efecto en superficies rígidas o las pistas de atletismo ($ES = 0.69$ y $ES = 0.64$, respectivamente) que en superficies de hierba. Esto puede deberse a la alta variabilidad en la fricción que existe entre los diferentes tipos de superficies (césped natural *versus* césped artificial), lo que afecta en gran medida la resistencia experimentada por el atleta cuando se utiliza RST, como sugirieron Linthorne y Cooper (110).

Los mismos parámetros abordados para la fase de aceleración, fueron analizados para encontrar las características óptimas cuando el objetivo era mejorar la fase de máxima velocidad del esprint. En contra de los hallazgos obtenidos para la fase de aceleración, el efecto del RST sobre el rendimiento de esprint es *small* para la fase de máxima velocidad ($ES = 0.27$). Esto se puede explicar por el hecho de que la resistencia proveniente de la fricción entre la superficie del trineo y la superficie de contacto (pista, hierba, etc.) cuando el esprint se realiza con un trineo es diferente si el trineo parte de parado o en movimiento debido a la inercia del sistema. Además, la P_{max} en el esprint generalmente se da en los primeros pasos; posteriormente la F_H y la P_H

disminuyen en un 82% y 63%, respectivamente, desde el primer hasta el último apoyo en un esprint de 20 m (104). Por lo tanto, si el objetivo es desarrollar la P_{\max} en la fase de máxima velocidad, quizás sean necesarias otras estrategias de entrenamiento distintas al RST, ya que, es bien sabido, que la F_v es predominante durante esta fase y adquiere importancia a medida que aumenta la velocidad de carrera y el atleta adopta una posición más erguida (26, 32, 33). En este sentido, el entrenamiento pliométrico u otro tipo de entrenamiento resistido con una orientación vertical de la resistencia, como el chaleco lastrado, podría ser más adecuado a la hora de producir un mayor efecto sobre esta fase.

En general, al analizar tanto las características de la población como del ejercicio para la fase de máxima velocidad, los resultados no muestran mejoras significativas del RST sobre el rendimiento en esta fase. No obstante, en relación a las características de la población hubo una mejora significativa en atletas mayores de 21 años ($ES = 0.37$; $P = 0.040$), de sexo masculino ($ES = 0.34$; $P = 0.040$) y que practican deportes de equipo ($ES = 0.42$; $P = 0.020$). En la misma línea, respecto a las características del entrenamiento, se muestra un efecto significativo cuando se usaron cargas superiores al 20% del BM ($ES = 0.35$; $P = 0.020$), con frecuencias semanales de entrenamiento iguales o superiores a 2 días ($ES = 0.35$; $P = 0.020$), periodos de entrenamiento con una duración superior a 6 semanas ($ES = 0.39$; $P = 0.010$), volúmenes por sesión superiores a 160 m ($ES = 0.53$; $P = 0.030$) y volúmenes de entrenamiento total superiores a 2680 m ($ES = 0.53$; $P = 0.030$). Aunque este meta-análisis respondió a muchas de las preguntas planteadas en la literatura científica, todavía existe una importante falta de investigación que se centre en atletas de alto nivel de deportes individuales tanto de género masculino como femenino y de diferentes edades.

No cabe duda que el RST y su efecto sobre el rendimiento de esprint ha sido y es uno de los temas más estudiados (69, 70, 84, 104, 105). Sin embargo, según las características del esprint específicas del fútbol y las acciones clave, el RST tiene algunas limitaciones que podrían resolverse con el uso de dispositivos diferentes, como el chaleco lastrado. Por ejemplo, el RST no permite COD ni proporciona un estímulo instantáneo sobre las acciones de desaceleración. Por lo tanto, el WVT podría ser un método alternativo en el fútbol por dos razones. Primero, porque este método permite sobrecargar ejercicios de COD y desaceleración. Segundo, como la resistencia en el WVT tiene un componente vertical mayor (145),

proporcionaría un estímulo más específico para los jugadores de fútbol, ya que la mayoría de los sprints comienzan en movimiento (37) y está bien documentado que la GRF vertical aumenta mientras que la GRF horizontal disminuye, a medida que aumenta la velocidad (26, 32). Por lo tanto, la combinación de diferentes modalidades de entrenamiento resistido podría ser la solución ideal para el fútbol. Precisamente por esta razón, surge la necesidad de investigar y analizar en relación a otras modalidades de entrenamiento resistido como el WVT.

Por otro lado el estudio 2 (156) tuvo como objetivo principal diseñar una herramienta para el control y la prescripción del entrenamiento resistido de sprint y salto vertical con base en la pérdida de velocidad y altura en condiciones sin sobrecarga, respectivamente; así como conocer un poco más sobre los efectos agudos que produce el incremento de la carga sobre los principales indicadores de rendimiento tanto en el sprint (V_{\max} y P_H) y el salto vertical (H_{\max} y P_{\max}). Para ello, se desarrollaron dos ecuaciones de regresión que describían con precisión la relación entre la carga del chaleco lastrado y la V_{\max} en un sprint de 30 m y la H_{\max} alcanzada en un CMJ con jugadores de fútbol. Además, ambas ecuaciones mostraron la relación carga-velocidad y carga-altura para el WVT de sprint y salto, respectivamente. Además, se trató de determinar la “carga óptima” para maximizar la producción de potencia en jugadores de fútbol, bajo las condiciones descritas en este estudio.

Las ecuaciones de regresión obtenidas mostraron una relación lineal inversa significativa carga- V_{\max} , y carga- H_{\max} para el sprint y salto ($P \leq 0.001$, Figuras 11a y 11b), respectivamente. Estas ecuaciones pueden ayudar a los entrenadores y profesionales de la preparación física a establecer la carga para el WVT, de acuerdo con las características individuales de cada atleta. Además, estas herramientas permiten determinar las diferentes cargas para desarrollar cada una de las secciones de la curva F-V, de forma individual y en función de los objetivos perseguidos o el momento concreto de la temporada. En el fútbol, los jugadores tienen que producir potencia tanto sin carga (actividades como correr o saltar, donde el atleta principalmente supera la inercia de su propio cuerpo) como en condiciones de carga (actividades como choques en deportes de contacto o COD donde el jugador debe aplicar incluso mayores fuerzas para cambiar la inercia del cuerpo) (151). El desarrollo de la producción de potencia a lo largo de todo el perfil F-V puede ser más beneficioso debido a las diferentes demandas que se le

exigen a un atleta durante la competición (151). Por lo tanto, ambas ecuaciones se pueden usar para controlar y prescribir la carga de trabajo y para cuantificar la carga del WVT en función del peso corporal del atleta.

En relación al esprint son escasos los estudios que hayan analizado los efectos del WVT, y los pocos que existen, sólo evaluaron los efectos sobre la cinemática (18, 70, 74, 79). Sólo dos estudios previos determinaron esta relación pero para el RST (73, 101). Lockie y coautores (101) presentaron una ecuación para calcular la carga adicional durante la fase de aceleración en atletas de deportes de equipo, y Alcaraz y coautores (73) para la fase de máxima velocidad en velocistas. Sin embargo, estas ecuaciones no son comparables con la obtenida en este estudio ni extrapolables al WVT, ya que, la modalidad de entrenamiento resistido utilizada fue diferente y, por lo tanto, las características y condiciones mecánicas también (por ejemplo, inercia, dirección del vector de carga, la fricción, la proximidad del dispositivo de resistencia con el centro de masa del atleta, etc.). Las ecuaciones presentadas en estos estudios previos (73, 101) mostraron la misma relación carga-velocidad encontrada en el estudio 2; es decir, el incremento de la carga produjo una reducción de la V_{max} . Con respecto a la "carga óptima", los resultados de este estudio no permitieron determinar qué carga podría ser más efectiva para maximizar la P_H y sugiere la necesidad de más investigación al respecto y utilizando una gama más amplia de cargas adicionales. Previamente, un estudio de Monte y coautores (104), con velocistas, indicó que el 20% del BM era la "carga óptima", mientras que otros estudios (73, 101) indicaron cargas de alrededor del 9% y 13% del BM. Sin embargo, se debe tener precaución al comparar los resultados porque, en los estudios de Lockie y coautores (101) y Alcaraz y coautores (73), el concepto de "carga óptima" fue diferente, ya que, se consideraba aquella carga que causaba un detrimento de no más del 10% de la V_{max} en condiciones de descarga. Por el contrario, un estudio reciente de Cross y coautores (105) sugirió que cargas más pesadas, entre 69-96% del BM, son más adecuadas para maximizar la producción de potencia en RST, dependiendo de las condiciones de fricción.

Con respecto al salto vertical, los resultados siguieron la misma línea que los obtenidos para el esprint, ya que, mostraron una reducción de la H_{max} y la P_{max} , cuando incrementó la carga, tal como se esperaba. En este caso, los resultados indicaron que la "carga óptima" correspondió al 0% del BM, resultados similares

a los obtenidos en estudios previos que mostraron la “carga óptima” más cerca del peso corporal del atleta usando cargas asistidas y resistidas (152-155) y que, por tanto, apoyan la idea de que el sistema muscular del tren inferior del cuerpo humano podría estar diseñado para producir la P_{\max} en condiciones descargadas durante movimientos rápidos (152).

No obstante, aunque los resultados de los estudios 2 y 3 (156, 160) determinaron que la “carga óptima” tanto en esprint como salto vertical fue cercana al 0% del BM, se debe considerar que ésta puede cambiar ligeramente a lo largo de la temporada. Por lo tanto, es importante desarrollar todas las secciones del espectro F-V, centrándose en cada zona de la curva, dependiendo del periodo del año (55). Tradicionalmente, en el fútbol, los entrenadores y preparadores físicos prescriben cargas más pesadas durante períodos fuera de temporada o la pretemporada para mejorar la sección de fuerza de la curva F-V y para maximizar la fuerza muscular en general. En la última parte de la pretemporada y durante la fase competitiva, se usan generalmente movimientos a alta velocidad para mejorar el área de velocidad (56, 58). Esto enfatiza la importancia de desarrollar toda la curva desde la sección de fuerza hasta el segmento de velocidad (58).

Teniendo en cuenta los resultados poco claros obtenidos en el estudio 2, en relación a la carga que maximizaba la potencia mecánica en el WVT de esprint y la necesidad de conocer un poco más sobre el efecto de una amplia gama de diferentes magnitudes de carga durante el WVT de esprint sobre variables espacio-temporales y cinéticas, el Estudio 3 (160) tuvo el objetivo de describir la relación F-V-P, así como los efectos del incremento de la carga del chaleco lastrado sobre las variables cinemáticas espacio-temporales y cinéticas y determinar la carga que maximiza la producción de potencia en jugadores de fútbol con el objetivo de ayudar a los entrenadores y preparadores físicos a la hora de diseñar programas de entrenamiento de velocidad. Conforme a lo esperado, los resultados confirmaron la hipótesis de que aumentar la carga causaría una disminución en la F_0 , la P_{\max} y el RF_{\max} y un incremento en la D_{RF} . Del mismo modo, la P_{\max} se logró con cargas cercanas al propio peso corporal de los jugadores.

Con respecto a las variables espacio-temporales, hubo un incremento en el T_{0-30} y una disminución en la V_{\max} cuando la carga aumentó, similar a lo mostrado en otros estudios previos que analizaron el esprint con chaleco lastrado (18, 70, 74,

79, 156). Un incremento del 10% del BM en el chaleco provocó una disminución de alrededor del 4-5% de la V_{\max} . Específicamente, la disminución del 4.7% en la V_{\max} con el 10% del BM en comparación con la condición de descarga fue similar a las mostrada en investigaciones previas que reportaron una reducción del 3.5% (79), del 3.8% (18) y del 4.3% (156) usando un porcentaje de carga adicional similar. Cross y coautores (79) mostraron una disminución del 5.6% en la V_{\max} con el 20% del BM, un valor comparable al 8.8% de disminución obtenido en este estudio cuando se utilizó la misma carga relativa. Además, hubo un incremento del 7.7% en el T_{0-30} con el 20% del BM, siguiendo la misma tendencia observada en el estudio de Cronin y coautores (74) que, sin embargo, informaron de un aumento del 11.7%. Esta disminución en el rendimiento del esprint al incrementar la carga adicional fue probablemente causada por una reducción en la amplitud y frecuencia de zancada y un incremento del tiempo de vuelo y el tiempo de contacto durante la fase de apoyo.

Con respecto a los parámetros cinéticos, la F_0 disminuyó sustancialmente un 6-7% por cada 10% de incremento en la carga. Un estudio previo que observó los efectos de diferentes cargas de chaleco lastrado sobre la F_0 (79) informó un efecto no significativo durante las fases de aceleración y máxima velocidad. Estos efectos sobre la F_0 pueden deberse al hecho de que la carga aplicada está orientada verticalmente y a una posición evidentemente más erguida del tronco de los atletas cuando se parte de una posición inicial sobre 2 apoyos. Además, una reducción en la capacidad de los jugadores para controlar la masa adicional colocada alrededor del tronco al utilizar el chaleco lastrado (74) podría explicar estos resultados. Curiosamente, la P_{\max} se logró en condiciones descargadas y también disminuyó cuando la carga aumentó. Concretamente, hubo un decremento del 11-14% por cada 10% de incremento de la carga, lo que apoya la idea de que el sistema muscular de las extremidades inferiores podría estar diseñado para producir la P_{\max} en movimientos rápidos sin carga adicional, confirmando lo que se sugirió previamente en el estudio 2 (156). Cabe señalar que, este estudio sí aclaró cuál fue la carga que maximizó la producción de potencia durante WVT de esprint, a diferencia del estudio 2 (156), que mostró resultados poco claros y no significativos. De hecho, los 2 estudios (79, 156) que analizaron la P_{\max} informaron cambios no significativos (79) o poco claros (156) durante la fase de aceleración del esprint utilizando chaleco lastrado. Sin

embargo, los métodos utilizados para calcular la P_{\max} fueron diferentes. Por lo tanto, se debe tener cuidado al comparar los resultados. Al igual que en este estudio, Carlos-Vivas y coautores (156) calcularon la P_{\max} usando el método propuesto por Samozino y coautores (106); mientras que, Cross y coautores (79) utilizaron un tapiz rodante Woodway Force 3.0 y estimaron la P_{\max} como el producto de la fuerza ejercida sobre una célula de carga horizontal y la velocidad del tapiz rodante.

Hace mucho tiempo, Bosco y coautores (95) resaltaron la posibilidad de aumentar la producción de potencia vertical utilizando WVT, ya que el chaleco lastrado permite incrementar la carga excéntrica en los músculos extensores durante la fase de frenado. Esta sobrecarga puede ayudar a aumentar la capacidad de los músculos para almacenar energía elástica y mejorar la producción de potencia. Sin embargo, como se mostró anteriormente, los resultados indicaron que la P_{\max} se logró en condiciones descargadas. Esta disonancia puede explicarse por el método utilizado para calcular la potencia, ya que, el método propuesto por Samozino y coautores (106), calcula la P_{\max} considerando la F_0 en lugar de la fuerza resultante. Por lo tanto, dado que la producción de F_H y la V_{\max} se redujeron por la orientación vertical de la carga del chaleco, es poco probable que proporcione un estímulo de potencia horizontal (Figura 15). Tal vez, se puede suponer que el chaleco lastrado podría ser útil para aumentar la potencia vertical durante la fase de máxima velocidad en la que el componente vertical de la GRF adquiere mayor importancia.

Además, este estudio también investigó el efecto sobre la efectividad de la aplicación de fuerza durante el esprint, determinada por el RF_{\max} y la DRF . Los resultados mostraron una disminución sustancial en el RF_{\max} a medida que aumentaba la carga. Esto era de esperar, sabiendo que el RF_{\max} se calcula al inicio del esprint, donde la aplicación de fuerzas propulsivas horizontales es muy importante para acelerar el cuerpo hacia adelante (26), y que el chaleco lastrado aumenta la carga verticalmente. También hubo un incremento general en la DRF a medida que aumentaba la carga, que fue sustancialmente mayor cuando la carga se incrementó más del 20% del BM. Esto refleja una mayor capacidad para mantener la producción de fuerza horizontal a medida que aumentaba la velocidad. Sin embargo, los resultados se deben tomar con cautela, ya que, el propio hecho de incrementar la carga del chaleco (orientada verticalmente),

favorecerá la aplicación de fuerza en la dirección vertical, con el consecuente decremento de la fuerza aplicada en la dirección horizontal, lo que se traduce en un RF_{max} menor.

De acuerdo con la literatura anterior (105, 125), y los hallazgos obtenidos en los estudios 1, 2 y 3, no cabe duda de que los ejercicios de entrenamiento resistido son un método eficaz para aumentar la capacidad del atleta para generar fuerzas de esprint tanto horizontales como verticales, dependiendo de la dirección de la resistencia aplicada según el ejercicio de entrenamiento elegido. Sin embargo, es importante entender que cada método de entrenamiento resistido proporciona un estímulo de entrenamiento diferente (94) y que todos son útiles, dependiendo de los objetivos de entrenamiento. Por ejemplo, en el esprint con chaleco lastrado, la resistencia adicional en el atleta surge del peso del dispositivo y se dirige verticalmente hacia abajo, mientras que un trineo se arrastra detrás del atleta, y la fuerza de resistencia en el atleta se dirige ligeramente hacia abajo y hacia atrás porque el punto de conexión al trineo es más bajo que el punto de conexión al atleta. Por tanto, tal y como se demostró (68), el RST puede ser una mejor opción para mejorar la fase de aceleración temprana, ya que este método parece reproducir con mayor precisión sus condiciones (mayor inclinación del tronco del atleta hacia delante y mayor duración y producción de fuerza horizontal durante la fase de apoyo para acelerar el cuerpo hacia delante) (69, 94). Por otro lado, el WVT podría ser mejor para promover adaptaciones relacionadas con la fase de máxima velocidad y el COD. El WVT tiene menor efecto sobre el ángulo del tronco (es decir, el atleta permanece más erguido) y, durante las últimas etapas de la aceleración y la fase de máxima velocidad (donde las fuerzas de frenado son un componente más significativo (74)) proporciona una mayor carga de frenado excéntrica al inicio de la fase de apoyo. Sorprendentemente, este estímulo excéntrico también podría proporcionar adaptaciones positivas sobre la capacidad de COD, la cual es esencial para el rendimiento en deportes de equipo, como el fútbol (159). No obstante, debido a que durante el esprint hay una combinación de fuerzas verticales y horizontales, sería necesario evaluar los efectos a largo plazo de la combinación de métodos de resistencia horizontal y vertical en la capacidad de rendimiento del esprint y COD. Más aun, teniendo en cuenta los efectos agudos encontrados en los estudios 1, 2 y 3 de esta tesis doctoral y la investigación previa, que ha mostrado que las fuerzas horizontales

son mayores en los primeros pasos y las verticales en los metros restantes (26, 32, 33), ya que, los atletas necesitan constantemente superar la fuerza de la gravedad.

Por todo ello, el estudio 4 tuvo como objetivo principal analizar y comparar los efectos de diferentes modalidades de entrenamiento resistido sobre el rendimiento en el esprint, la habilidad para cambiar de dirección y la capacidad de salto horizontal y vertical tras 8 semanas de entrenamiento en jugadores de fútbol juvenil; así como, determinar si el efecto sobre el rendimiento era mayor según la modalidad de entrenamiento resistido de esprint y la respectiva dirección de la resistencia utilizada.

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que compara los efectos de un programa de entrenamiento resistido de esprint utilizando diferentes equipamientos para proporcionar resistencia horizontal y vertical en jugadores de fútbol juvenil. Los resultados muestran que 8 semanas de diferentes modalidades de entrenamiento resistido mejoran el rendimiento de esprint, la habilidad de COD y la capacidad de salto horizontal y vertical en jugadores de fútbol juvenil. El mayor efecto intra-grupo sobre el rendimiento de esprint se observó en HRS y CRS, mientras que todos los grupos con resistencia adicional (HRS, VRS y CRS) mejoraron el rendimiento en el COD. El rendimiento de salto mejoró en función de la dirección de la resistencia aplicada, mostrando HRS mejoras en el SLJ y; VRS y CRS mejoras en el CMJ. Aunque los cambios intra-grupo mostraron un mayor efecto en HRS y CRS, tras eliminar el sesgo causado por el diferente nivel de partida de los grupos de entrenamiento, la comparación entre grupos mostró que VRS experimentó la mayor mejora en el rendimiento de esprint, la habilidad de COD y la capacidad de CMJ.

Todos los grupos de entrenamiento experimentaron mejoras en el rendimiento de esprint, observándose una disminución en los tiempos parciales (T_{0-10m} , T_{10-20m} , T_{20-30m}) y el T_{0-30m} . Igualmente, se observaron mejoras en la V_{max} y la V_0 . Estos resultados van en la línea de los obtenidos en estudios previos que han explorado el efecto del RST sobre el rendimiento de esprint (65, 76, 77, 84, 86, 103, 122, 125). Además, se observaron mejoras en la F_0 y la P_{max} en todos los grupos de entrenamiento. Respecto a la efectividad de aplicación de fuerza contra el suelo, determinada por el RF_{max} y la DRF , todos los grupos experimentaron incrementos en el RF_{max} , lo que podría explicarse dada la alta especificidad del programa de entrenamiento, independientemente de la modalidad de resistencia utilizada y su

dirección; ya que, como es bien sabido, el propio esprint es el mejor estímulo para mejorar el esprint (68). En general, las comparaciones entre grupos (Figura 17) mostraron resultados poco claros, a excepción del T_{0-10m} y el T_{0-30m} , donde VRS obtuvo mayores mejoras en comparación con HRS. De manera similar, se encontraron mayores incrementos, aunque *moderate*, en la P_{max} a favor de URS, CRS y VRS en comparación con HRS. Estos hallazgos son sorprendentes teniendo en cuenta la importancia de las fuerzas propulsoras horizontales, especialmente en la fase de aceleración del esprint (26). Sin embargo, es importante saber que las GRF son ligeramente diferentes cuando el esprint se inicia desde los bloques de salida y cuando se inicia en bipedestación y con una pierna más adelantada. Además, aunque VRS proporciona al atleta un estímulo de sobrecarga más vertical, el esprint es una tarea orientada horizontalmente y, por lo tanto, el jugador también tiene que impulsar esta sobrecarga hacia adelante con el resto de su cuerpo. Concretamente, la orientación de las GRF cambia a una orientación más vertical a medida que se pasa de la fase de aceleración a la fase de máxima velocidad en el esprint; siendo el impulso y la GRF resultante diagonales cuando el esprint se inicia desde los bloques de salida (26, 32, 33) y casi completamente vertical cuando comienza en movimiento (48). Por lo tanto, en el fútbol donde la mayoría de los esprints comienzan con una velocidad inicial (48), VRS podría ofrecer un estímulo más específico que podría explicar los hallazgos encontrados en el Estudio nº4. Además, VRS proporciona mayor estímulo de sobrecarga que la misma magnitud de carga en la dirección horizontal, debido al efecto agregado de la gravedad. De hecho, hubo un incremento mayor de la P_{max} a favor de VRS en comparación con HRS, posiblemente causado por este efecto.

En relación al cambio de dirección, tanto para el COD_{Time} como para la COD_{Speed} , se encontraron mejoras en todos los grupos, coincidiendo con los resultados mostrados por estudios anteriores que analizaron los efectos del RST sobre la habilidad de COD (85, 86). De hecho, un estudio reciente mostró una mejora en el rendimiento del COD tras 6 semanas de WVT (87). En la misma línea, los resultados de la eficacia de la capacidad de cada jugador para utilizar su velocidad lineal durante las tareas específicas de COD, evaluada mediante el $COD_{Deficit}$, mostraron una mejora del rendimiento tras la intervención en todos los grupos. Estos hallazgos podrían explicarse por una mejora en la técnica de COD y en la capacidad de aceleración, como se informó anteriormente (51). La

comparación entre grupos (Figura 18) reveló mejoras en el COD_{Time} y la COD_{Speed} a favor de VRS, en la misma línea que los hallazgos reportados por Rodríguez-Osorio y coautores (87), que también mostraron mejoras tras 6 semanas de WVT. Además, VRS mostró un $COD_{Deficit}$ menor en comparación con HRS y URS, mejoras que podrían ser resultado de la mayor demanda excéntrica en los músculos extensores durante la fase de frenado, debido a la resistencia orientada verticalmente. Además, WVT supone una mayor demanda durante la fase de frenado después del esprint que con la carga horizontal, lo que podría influir en la función neuromuscular excéntrica con una transferencia muy positiva a la capacidad de COD. Sin embargo, no se puede afirmar, puesto que, la técnica y la distancia de frenado no se controlaron en el Estudio nº 4.

Con respecto a la capacidad de salto, aunque todos los grupos de entrenamiento, excepto URS, mejoraron la $SLJ_{Distance}$; la comparación entre grupos (Figura 19) sólo reveló mejoras mayores a favor de CRS en comparación con URS en la $SLJ_{Distance}$, probablemente debido a la sobrecarga mecánica adicional experimentada por los grupos HRS, VRS y CRS. En cuanto al rendimiento del CMJ, aunque todos los grupos, excepto HRS, incrementaron la CMJ_{Pmax} ; sólo VRS mostró mejoras en la CMJ_{Height} . Además, VRS fue el único grupo que obtuvo mayores mejoras en comparación con los demás grupos (Figura 19), lo que podría deberse a la sobrecarga vertical específica experimentada por VRS, ya que la GRF vertical es un componente cinético clave en las acciones explosivas verticales (166). Por tanto, parece que la especificidad del estímulo en cuanto a la dirección de la carga es fundamental para producir las adaptaciones deseadas según la naturaleza de la acción en que se pretende obtener una mejora del rendimiento.

En resumen, los resultados de este estudio indican que la combinación de entrenamiento resistido de esprint con o sin COD, independientemente de la dirección de carga, es una buena opción para mejorar el rendimiento del esprint y la habilidad de COD en jugadores de fútbol juvenil. Sin embargo, VRS puede ser un mejor estímulo de entrenamiento teniendo en cuenta las mejoras observadas en el rendimiento de esprint, la habilidad de COD y la capacidad de salto.

X – CONCLUSIONES

CAPÍTULO X. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en los diferentes estudios que conforman la presente tesis doctoral, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

10.1. CONCLUSIONES GENERALES

- 1) A partir de los resultados obtenidos en la revisión sistemática con meta-análisis se puede afirmar que el RST es un método eficaz para mejorar el rendimiento de esprint.
- 2) La herramienta diseñada permite controlar y prescribir el entrenamiento resistido de esprint y salto con precisión y establecer la carga adicional que se debe añadir al chaleco lastrado, en función del objetivo perseguido.
- 3) El aumento de la carga en el WVT afecta negativamente a las variables espacio-temporales y cinéticas tanto en el esprint como en el salto vertical.
- 4) La aplicación de cualquier modalidad de entrenamiento resistido, así como la combinación de varias de ellas, produce una mejora del rendimiento en el esprint, la habilidad para cambiar de dirección y el salto.

10.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Estudio 1: *Eficacia del entrenamiento resistido con arrastre de trineo (RST) para el rendimiento en esprint: Revisión sistemática y meta-análisis.*

- 1) El RST mejora el rendimiento en el esprint en atletas sanos, principalmente en la fase de aceleración temprana; sin embargo, no es más efectivo que el URS.
- 2) No existe una “carga óptima” a la hora de aplicar el RST, ya que dependerá del objetivo deseado. No obstante, cuando se utiliza RST

como método secundario con una ligera sobrecarga adicional, la carga nunca debe ser superior al 20% del BM. Además, la carga debe ser diferente según la fase del esprint sobre la que se quiera incidir.

- 3) El efecto del RST es mayor en varones, recreacionalmente activos o entrenados y que practican deportes de equipo como el fútbol o el rugby, que en atletas altamente entrenados.
- 4) En cuanto a las características del RST para optimizar las adaptaciones, se concluye que la intensidad no es un factor determinante para la mejora del rendimiento de esprint, pero el volumen de entrenamiento recomendado tiene que ser superior a 160 m por sesión y aproximadamente de 2680 m cuando hablamos de volumen total del ciclo de entrenamiento, con una frecuencia de entrenamiento de 2-3 veces por semana, durante un periodo de al menos 6 semanas. Además, las superficies rígidas parecen mejorar el efecto del RST sobre el rendimiento de esprint.

Estudio 2: *Una nueva herramienta para controlar y monitorizar la carga de entrenamiento resistido con chaleco lastrado de esprint y salto en fútbol.*

- 1) Las dos ecuaciones de regresión desarrolladas muestran una relación inversamente proporcional entre la carga del WVT y los indicadores de rendimiento tanto del esprint (es decir, la V_{\max}) como del salto vertical (es decir, la H_{\max}) en jugadores de fútbol semiprofesionales.
- 2) El incremento de la carga en el WVT produce un incremento del T_{0-30} y una disminución de la V_{\max} de esprint, la H_{\max} del salto vertical y la P_{\max} tanto del esprint como del salto vertical, en jugadores de fútbol semiprofesionales.
- 3) La carga que maximiza la producción de potencia es cercana al 0% del propio peso corporal del deportista para el salto vertical, no siendo clara en el caso del esprint, en jugadores de fútbol semiprofesionales.

Estudio 3: *Perfil fuerza-velocidad-potencia durante el esprint con chaleco lastrado en fútbol.*

- 1) El incremento de la carga en el WVT disminuye la F_0 , la P_{\max} , el RF_{\max} y la D_{RF} del esprint en jugadores de fútbol semiprofesionales. Este cambio es mayor cuando la carga se incrementa más allá del 20% del BM, especialmente en el RF_{\max} .
- 2) La carga que maximiza la producción de potencia, en el esprint y en jugadores de fútbol semiprofesionales, es cercana al 0% del propio peso corporal del deportista.

Estudio 4: *¿Afecta la dirección de la carga (vertical vs horizontal) en el entrenamiento resistido de esprint sobre las adaptaciones del rendimiento en el fútbol?*

- 1) El entrenamiento resistido mejora el rendimiento del esprint y el COD en jugadores de fútbol juvenil, independientemente de la orientación de la resistencia adicional aplicada y la capacidad de salto horizontal y vertical tras 8 semanas de entrenamiento.
- 2) El efecto del entrenamiento resistido sobre el rendimiento en el esprint y el COD es mayor en aquellas modalidades de entrenamiento cuya resistencia se orienta verticalmente, tanto en la fase de aceleración como en el esprint completo, en jugadores de fútbol juvenil. Además, la modalidad orientada verticalmente es la única que produce un efecto positivo adicional sobre la capacidad de salto vertical y el COD_{Deficit} .

XI – LIMITACIONES

CAPÍTULO XI. LIMITACIONES

Las principales limitaciones de los estudios que conforman la presente tesis doctoral, se enumeran a continuación:

- 1) El escaso número de trabajos existentes en la literatura en relación a los efectos de otras modalidades de entrenamiento resistido de esprint, diferentes al RST; así como la escasez de estudios que incluyan una intervención con RST con cargas elevadas.
- 2) La alta heterogeneidad de los protocolos y las muestras de los estudios recogidos en el meta-análisis no permiten establecer las condiciones óptimas de RST para conseguir las mejores adaptaciones según las características propias de cada modalidad deportiva, siendo probablemente una de las razones por las que se encuentran resultados contradictorios para algunas variables. Además, el número de estudios que incluye la participación de atletas femeninas es muy escaso, no permitiendo establecer cómo es el efecto para este tipo de atletas.
- 3) La escasez de estudios que investiguen los efectos del WVT, no permite clarificar cuál es la “carga óptima” para esta modalidad de entrenamiento resistido de esprint.
- 4) El método utilizado para calcular las variables cinéticas del esprint sólo considera las componentes horizontales de fuerza y potencia, no teniendo en cuenta la componente resultante de la aplicación de fuerza que sería lo más adecuado, más aún, teniendo en cuenta la importancia que adquiere la aplicación de fuerza vertical a medida que incrementa la velocidad durante el esprint.
- 5) La heterogeneidad de la muestra utilizada en los diferentes estudios, ya que, a pesar de ser todos futbolistas, la intervención de 8 semanas se realizó en jugadores en formación y los efectos agudos en jugadores semiprofesionales.

- 6) La elevada muerte experimental que se produjo en el estudio nº 4, que redujo el tamaño inicial de la muestra en un 20%. No obstante, la distribución de los grupos de entrenamiento fue homogénea en cuanto al número de participantes y, además, se utilizó un análisis de los datos con el objetivo de eliminar un posible sesgo causado por la diferencia de nivel inicial en las habilidades evaluadas.
- 7) En el estudio nº 4, la dirección de la fuerza horizontal en el ejercicio de COD no fue específica ni estaba orientada horizontalmente en relación con el giro (ni en la fase excéntrica ni en la concéntrica).

**XII – FUTURAS LÍNEAS DE
INVESTIGACIÓN**

CAPÍTULO XII. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Con base en todo lo expuesto en la presente tesis doctoral, a continuación, se describen las futuras líneas de investigación:

- 1) Investigar el efecto de diferentes modalidades de entrenamiento y la manipulación de variables de entrenamiento como la intensidad de la carga, sobre la mecánica del movimiento específica (activación muscular, cinemática, cinética...).
- 2) Desarrollar un método de cálculo que permita determinar los parámetros cinéticos del esprint, teniendo en cuenta la componente resultante de fuerzas.
- 3) Realizar un seguimiento posterior a la finalización de la intervención con entrenamiento resistido para conocer la retención de los efectos observados sobre la capacidad de esprint, COD y salto; así como, sobre las distintas variables espacio-temporales y cinéticas evaluadas.
- 4) Aplicar más intervenciones similares a la del Estudio nº 4, ya que existe la necesidad de confirmar si unas modalidades de entrenamiento resistido favorecen más que otras la mejora del rendimiento de esprint o de cada una de sus fases, la habilidad de COD o la capacidad de salto, ya que, son factores clave del rendimiento en la mayoría de modalidades deportivas de equipo, como el fútbol. Además, aclarar cuál es la dosis de entrenamiento requerida para mejorar el rendimiento según la modalidad de entrenamiento resistido utilizada.
- 5) Determinar cuál sería la carga equivalente a cada modalidad de entrenamiento resistido de esprint, teniendo en cuenta la pérdida de velocidad que suponen con respecto a la velocidad de esprint en condiciones descargadas.

XIII – APLICACIONES

PRÁCTICAS

CAPÍTULO XIII. APLICACIONES PRÁCTICAS

En base a los resultados obtenidos en las investigaciones presentadas en la presente tesis doctoral y tras su discusión con la bibliografía relacionada, los profesionales del entrenamiento y el acondicionamiento físico, en especial, aquellos que ejercen su labor en deportes de equipo como el fútbol, podrían tener en cuenta las siguientes recomendaciones al aplicar entrenamiento resistido:

- 1) ¿Es el RST un método de entrenamiento resistido efectivo para la mejora del esprint?
 - El RST es efectivo sólo para la fase de aceleración temprana. Para otras fases sería conveniente utilizar otro método de entrenamiento resistido de esprint, en los que la dirección de la resistencia aplicada tenga un componente más vertical.
- 2) ¿Cuáles son las características de entrenamiento óptimas para que la aplicación de RST tenga un mayor efecto sobre el rendimiento?
 - Cuando se utiliza RST, la intensidad (entendida como carga adicional) no es un factor determinante para la mejora del esprint. Sin embargo, cuando se utiliza RST como método secundario (replicando las demandas de velocidad en términos de patrón de movimiento, carga y velocidad con una ligera sobrecarga adicional), la carga nunca debe ser superior al 20% del BM. No obstante, si el objetivo es mejorar la fuerza máxima, cargas superiores al 20% del BM podrían ser adecuadas, siempre y cuando el atleta no modifique sustancialmente la técnica de carrera y nunca en atletas de bajo nivel o inexpertos.
 - Además, se recomienda un volumen de entrenamiento superior a 160 m por sesión y de aproximadamente 2680 m cuando hablamos de volumen total del ciclo de entrenamiento, con una frecuencia de 2-3 veces por semana, durante un periodo de al menos 6 semanas, siendo las superficies rígidas las que más favorecen el efecto del RST sobre el rendimiento de esprint.

- 3) ¿Es el WVT un método de entrenamiento resistido efectivo para la mejora del esprint?
 - El WVT puede ser una buena opción tanto para la fase de aceleración como para la fase de máxima velocidad. Sin embargo, si el objetivo es mejorar la fase de máxima velocidad, el WVT parece ser la mejor opción.
- 4) ¿Cuáles son las características de entrenamiento óptimas para que la aplicación de WVT tenga un mayor efecto sobre el rendimiento?
 - Cuando se utiliza WVT, el uso de cargas no superiores al 20% del BM, con una frecuencia de al menos 2 veces por semana, durante un periodo 8 semanas, es adecuada para mejorar el rendimiento de esprint y la capacidad de COD. Además, puede producir mejoras adicionales en la capacidad de salto vertical y el COD_{Deficit}.
- 5) ¿Cómo podemos controlar y programar el entrenamiento resistido?
 - Las ecuaciones de regresión como herramientas para controlar y prescribir la carga durante el WVT basado en la pérdida de V_{max} y la H_{max} son altamente prácticas y permiten calcular fácilmente y con precisión la carga para el WVT en los ejercicios de esprint y salto en jugadores de fútbol.
 - Concretamente, las tablas 7 y 8 de la presente tesis doctoral, muestran valores de referencia para el WVT usando el %BM para esprint y salto vertical, respectivamente. Estos valores pueden servir como punto de partida cuando los entrenadores y preparadores físicos desean prescribir el entrenamiento en función de la pérdida de velocidad o altura, así como para elegir la carga adecuada del chaleco lastrado para cada jugador. Por ejemplo, si un jugador de 70 kg quiere trabajar al 90% de su V_{max} y H_{max} , se deben usar cargas de 14.8 kg y 5.0 kg, respectivamente.

XIV – REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kunz M. Gran Censo 2006. FIFA Magazine [Internet]. 2007.
2. Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players - Physiological considerations. *Sports Med.* 2004;34(3):165-80.
3. Jullien H, Bisch C, Largouet N, Manouvrier C, Carling CJ, Amiard V. Does a short period of lower limb strength training improve performance in field-based tests of running and agility in young professional soccer players? *J Strength Cond Res.* 2008;22(2):404-11.
4. Wisloff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(3):462-7.
5. Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(2):148-56.
6. Tønnessen E, Hem E, Leirstein S, Haugen T, Seiler S. Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989–2012. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(3):323-9.
7. 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.* 2014;9(4):621-6.
8. Garcia-Pinillos F, Martinez-Amat A, Hita-Contreras F, Martinez-Lopez EJ, Latorre-Roman 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.* 2014;28(9):2452-60.
9. Bolger R, Lyons M, Harrison AJ, Kenny IC. Sprinting performance and resistance-based training interventions: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2015;29(4):1146-56.
10. Delecluse C. Influence of strength training on sprint running performance. *Sports Med.* 1997;24(3):147-56.
11. Petrakos G, Morin JB, Egan B. Resisted sled sprint training to improve sprint performance: A systematic review. *Sports Med.* 2016;46(3):381-400.

12. Haff GG, Stone MH. Methods of developing power with special reference to football players. *Strength Cond J*. 2015;37(6):2-16.
13. Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci*. 1991;16(2):110-6.
14. Helgerud J, Rodas G, Kemi OJ, Hoff J. Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med*. 2011;32(9):677-82.
15. Mendez-Villanueva A, Buchheit M, Simpson B, Peltola E, Bourdon P. Does on-field sprinting performance in young soccer players depend on how fast they can run or how fast they do run? *J Strength Cond Res*. 2011;25(9):2634-8.
16. Upton DE. The effect of assisted and resisted sprint training on acceleration and velocity in Division IA female soccer athletes. *J Strength Cond Res*. 2011;25(10):2645-52.
17. Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JEL, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2000;40(2):162-9.
18. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL, Linthorne NP. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res*. 2008;22(3):890-7.
19. Lockie RG, Murphy AJ, Schultz AB, Jeffriess MD, Callaghan SJ. Influence of sprint acceleration stance kinetics on velocity and step kinematics in field sport athletes. *J Strength Cond Res*. 2013;27(9):2494-503.
20. Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*. 2012;30(7):625-31.
21. Kawamori N, Newton R, Nosaka K. Effects of weighted sled towing on ground reaction force during the acceleration phase of sprint running. *J Sports Sci*. 2014;32(12):1139-45.
22. Mann RA, Hagy J. Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am J Sports Med*. 1980;8(5):345-50.
23. Young WB, Benton D, Duthie G, Pryor J. Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength Cond J*. 2001;23(2):7-13.

24. Mero A, Komi P, Gregor R. Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med.* 1992;13(6):376-92.
25. Alexander RM. Mechanics of skeleton and tendons. *Handbook of Physiology - The Nervous System.* Am Physiol Soc. 1981;2:17-42.
26. Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Saez-de-Villarreal E, Couturier A, Samozino P, et al. Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25(5):583-94.
27. Mero A, Komi PV. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(5):553-61.
28. Weyand PG, Sandell RF, Prime DNL, Bundle MW. The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol.* 2010;108(4):950-61.
29. Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol.* 2000;89(5):1991-9.
30. Clark KP, Weyand PG. Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *J Appl Physiol.* 2014;117(6):604-15.
31. DeWeese BH, Bellon C, Magrum E, Taber CB, Suchomel TJ. Strengthening the springs: Improving sprint performance via strength training. *Track Tech.* 2016;9(3):8-20.
32. Nagahara R, Mizutani M, Matsuo A, Kanehisa H, Fukunaga T. Step-to-step spatiotemporal variables and ground reaction forces of intra-individual fastest sprinting in a single session. *J Sports Sci.* 2017;36(12):1392-401.
33. Nagahara R, Mizutani M, Matsuo A, Kanehisa H, Fukunaga T. Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint. *J Appl Biomech.* 2017;34(2):104-10.
34. Dalleau G, Belli A, Bourdin M, Lacour J-R. The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;77(3):257-63.

35. Voigt M, Bojsen-Møller F, Simonsen EB, Dyhre-Poulsen P. The influence of tendon Young's modulus, dimensions and instantaneous moment arms on the efficiency of human movement. *J Biomech.* 1995;28(3):281-91.
36. Rampinini E, Bishop D, Marcora S, Bravo DF, Sassi R, Impellizzeri F. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med.* 2007;28(03):228-35.
37. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer - An update. *Sports Med.* 2005;35(6):501-36.
38. Di Salvo V, Baron R, Gonzalez-Haro C, Gormasz C, Pigozzi F, Bachl N. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci.* 2010;28(14):1489-94.
39. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities - Specific to field-based team sports. *Sports Med.* 2005;35(12):1025-44.
40. Andrzejewski M, Chmura J, Pluta B, Strzelczyk R, Kasprzak A. Analysis of sprinting activities of professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(8):2134-40.
41. Barros RML, Misuta MS, Menezes RP, Figueroa PJ, Moura FA, Cunha SA, et al. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sports Sci Med.* 2007;6(2):233-42.
42. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 2003;21(7):519-28.
43. Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri FM. Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med.* 2007;28(12):1018-24.
44. Barnes C, Archer D, Hogg B, Bush M, Bradley P. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med.* 2014;35(13):1095-100.
45. Bush M, Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bradley PS. Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. *Hum Mov Sci.* 2015;39:1-11.

46. Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med.* 2009;30(03):205-12.
47. Suarez-Arrones L, Arenas C, López G, Requena B, Terrill O, Mendez-Villanueva A. Positional differences in match running performance and physical collisions in men rugby sevens. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(2):316-23.
48. Haugen TA, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(3):432-41.
49. Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P. Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *J Sports Sci Med.* 2007;6(1):63.
50. Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P. Deceleration and turning movements performed during FA Premier League soccer matches. In: Reilly T, Korkusuz F, editors. *Science and football VI: the Proceedings of the Sixth World Congress on Science and Football.* London: Routledge; 2009. p. 174-81.
51. Brughelli M, Cronin J, Levin G, Chaouachi A. Understanding change of direction ability in sport. *Sports Med.* 2008;38(12):1045-63.
52. Spiteri T, Cochrane JL, Hart NH, Haff GG, Nimphius S. Effect of strength on plant foot kinetics and kinematics during a change of direction task. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(6):646-52.
53. Swinton PA, Lloyd R, Keogh JW, Agouris I, Stewart AD. Regression models of sprint, vertical jump, and change of direction performance. *J Strength Cond Res.* 2014;28(7):1839-48.
54. Hill A. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 1938;126(843):136-95.
55. Kawamori N, Haff GG. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):675-84.
56. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power part 2-training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.* 2011;41(2):125-46.

57. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy-vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res.* 2002;16(1):75-82.
58. Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. *Strength Cond J.* 2012;34(6):2-12.
59. Sale D, MacDougall D. Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. *Can J Appl Sports Sci.* 1981;6(2):87-92.
60. Plisk SS. Speed, agility, and speed-endurance development. *Essentials of strength training and conditioning: Human Kinetics Champaign;* 2000. p. 471-91.
61. Iacono AD, Martone D, Milic M, Padulo J. Vertical-vs. horizontal-oriented drop jump training: Chronic effects on explosive performances of elite handball players. *J Strength Cond Res.* 2017;31(4):921-31.
62. Freitas TT, Martinez-Rodriguez A, Calleja-González J, Alcaraz PE. Short-term adaptations following complex training in team-sports: A meta-analysis. *PLoS ONE.* 2017;12(6):e0180223.
63. Rumpf MC, Lockie RG, Cronin JB, Jalilvand F. Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: A brief review. *J Strength Cond Res.* 2016;30(6):1767-85.
64. Seitz LB, Reyes A, Tran TT, de Villarreal ES, Haff GG. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 2014;44(12):1693-702.
65. Lockie RG, Murphy AJ, Schultz AB, Knight TJ, de Jonge XAKJ. The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res.* 2012;26(6):1539-50.
66. Hill A, Long C, Lupton H. The effect of fatigue on the relation between work and speed, in contraction of human arm muscles. *J Physiol.* 1924;58(4-5):334-7.
67. Randell AD, Cronin JB, Keogh JW, Gill ND. Transference of strength and power adaptation to sports performance-horizontal and vertical force production. *Strength Cond J.* 2010;32(4):100-6.

68. Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, Martínez-Rodríguez A. The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48(9):2143-65.
69. Alcaraz PE, Elvira JLL, Palao JM. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(2):279-90.
70. Clark KP, Stearne DJ, Walts CT, Miller AD. The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sleds vs weighted vests. *J Strength Cond Res.* 2010;24(12):3287-95.
71. Hrysomallis C. The effectiveness of resisted movement training on sprinting and jumping performance. *J Strength Cond Res.* 2012;26(1):299-306.
72. Alcaraz PE. Sprint training with resisted sprint training methods. *CCD.* 2010;5(15):19-26.
73. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL. Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res.* 2009;23(2):480-5.
74. Cronin JB, Hansen K, Kawamori N, McNair P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech.* 2008;7(2):160-72.
75. Martínez-Valencia MA, Romero-Arenas S, Elvira JLL, González-Rave JM, Navarro-Valdivielso F, Alcaraz PE. Effects of sled towing on peak force, the rate of force development and sprint performance during the acceleration phase. *J Hum Kinet.* 2015;46(1):139-48.
76. Harrison AJ, Bourke G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1):275-83.
77. Spinks CD, Murphy AJ, Spinks WL, 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.* 2007;21(1):77-85.
78. Murphy AJ, Lockie RG, Coutts AJ. Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *J Sports Sci Med.* 2003;2(4):144-50.
79. Cross MR, Brughelli ME, Cronin JB. Effects of vest loading on sprint kinetics and kinematics. *J Strength Cond Res.* 2014;28(7):1867-74.

80. Zatsiorsky VM, Kraemer WJ. Science and practice of strength training: Human Kinetics; 2006.
81. Cissik JM. Means and Methods of Speed Training, Part I. Strength Cond J. 2004;26(4):24-9.
82. Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. Int J Sports Med. 2006;1(2):74-83.
83. Faccioni A. Assisted and resisted methods for speed development: Part 2. Mod Athl Coach. 1994;32(3):8-12.
84. de Hoyo M, Gonzalo-Skok O, Sañudo B, Carrascal C, Plaza-Armas JR, Camacho-Candil F, et al. Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive performance in U-19 elite soccer players. J Strength Cond Res. 2016;30(2):368-77.
85. Gil S, Barroso R, Crivoi do Carmo E, Loturco I, Kobal R, Tricoli V, et al. Effects of resisted sprint training on sprinting ability and change of direction speed in professional soccer players. J Sport Sci. 2018;36(17):1923-9.
86. McMorrow BJ, Ditroilo M, Egan B. Effect of heavy resisted sled sprint training during the competitive season on sprint and change-of-direction performance in professional soccer players. Int J Sports Physiol Perform. 2019:1-25.
87. Rodríguez-Osorio D, Gonzalo-Skok O, Pareja-Blanco F. Effects of resisted sprint with changes of direction training through several relative loads on physical performance in soccer players. Int J Sports Physiol Perform. 2019.
88. De Villarreal ES-S, Requena B, Newton RU. Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. J Sci Med Sport. 2010;13(5):513-22.
89. Kugler F, Janshen L. Body position determines propulsive forces in accelerated running. J Biomech. 2010;43(2):343-8.
90. Loturco I, Contreras B, Kobal R, Fernandes V, Moura N, Siqueira F, et al. Vertically and horizontally directed muscle power exercises: Relationships with top-level sprint performance. PLoS ONE. 2018;13(7):e0201475.

91. Arcos AL, Yanci J, Mendiguchia J, Salinero JJ, Brughelli M, Castagna C. Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(3):480-8.
92. Morin J-B, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour J-R. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(11):3921-30.
93. Colyer SL, Nagahara R, Takai Y, Salo AI. How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: Waveform analysis of ground reaction forces. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(12):2527-35.
94. Cronin JB, Hansen KT. Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *Strength Cond J*. 2006;28(4):42-51.
95. Bosco C, Rusko H, Hirvonen J. The effect of extra-load conditioning on muscle performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1986;18(4):415-9.
96. Rey E, Padron-Cabo A, Fernandez-Penedo D. Effects of sprint training with and without weighted vest on speed and repeated sprint ability in male soccer players. *J Strength Cond Res*. 2016;31(10):2659-66.
97. Bosco C. Adaptive response of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. *Acta Physiol Scand*. 1985;124(4):507-13.
98. Bosco C, Zanon S, Rusko H, Dal Monte A, Bellotti P, Latteri F, et al. The influence of extra load on the mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1984;53(2):149-54.
99. Brown SC, Craik FI. Encoding and retrieval of information. *The Oxford Handbook of Memory*: Oxford University Press; 2000. p. 93-107.
100. Jakalski K. The pros and cons of using resisted and assisted training methods with high school sprinters: parachutes, tubing and towing. *Track Coach*. 1998;144:4585-9.
101. Lockie RG, Murphy AJ, Spinks CD. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res*. 2003;17(4):760-7.
102. Cottle CA, Carlson LA, Lawrence MA. Effects of sled towing on sprint starts. *J Strength Cond Res*. 2014;28(5):1241-5.

103. Kawamori N, Newton RU, Hori N, Nosaka K. Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability. *J Strength Cond Res.* 2014;28(10):2738-45.
104. Monte A, Nardello F, Zamparo P. Sled towing: The optimal overload for peak power production. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;12(8):1052-8.
105. Cross MR, Brughelli M, Samozino P, Brown SR, Morin J-B. Optimal loading for maximizing power during sled-resisted sprinting. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(8):1069-77.
106. Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports.* 2016;26(6):648-58.
107. Cross MR, Tinwala F, Lenetsky S, Samozino P, Brughelli M, Morin J-B. Determining friction and effective loading for sled sprinting. *J Sports Sci.* 2017;35(22):2198-203.
108. Cross MR, Tinwala F, Lenetsky S, Brown SR, Brughelli M, Morin J-B, et al. Assessing Horizontal Force Production in Resisted Sprinting: Computation and Practical Interpretation. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;14(5):689-93.
109. Maulder PS, Bradshaw EJ, Keogh JWL. Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *J Strength Cond Res.* 2008;22(6):1992-2002.
110. Linthorne NP, Cooper JE. Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sports Biomech.* 2013;12(2):175-85.
111. Behm DG, Sale DG. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol.* 1993;74(1):359-68.
112. West DJ, Cunningham DJ, Bracken RM, Bevan HR, Crewther BT, Cook CJ, et al. Effects of resisted training on acceleration in professional rugby union players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(4):1014-8.
113. Letzelter M, Sauerwein G, Burger R. Resistance runs in speed development. *Mod Athlete Coach.* 1995;33:7-12.

114. Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Speed and countermovement-jump characteristics of elite female soccer players, 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perform.* 2012;7(4):340-9.
115. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Prisma G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6(7):e1000097.
116. Bhogal SK, Teasell RW, Foley NC, Speechley MR. The PEDro scale provides a more comprehensive measure of methodological quality than the Jadad scale in stroke rehabilitation literature. *J Clin Epidemiol.* 2005;58(7):668-73.
117. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother.* 2009;55(2):129-33.
118. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003;83(8):713-21.
119. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (revised ed.): New York: Academic; 1977.
120. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. *Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science.* *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3.
121. Higgins JP, Green S. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions:* John Wiley & Sons; 2011.
122. Bachero-Mena B, Gonzalez-Badillo JJ. Effects of resisted sprint training on acceleration with three different loads accounting for 5, 12.5, and 20% of body mass. *J Strength Cond Res.* 2014;28(10):2954-60.
123. Luteberget LS, Raastad T, Seynnes O, Spencer M. Effect of traditional and resisted sprint training in highly trained female team handball players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(5):642-7.
124. Makaruk B, Sozański H, Makaruk H, Sacewicz T. The effects of resisted sprint training on speed performance in women. *Hum Mov Sci.* 2013;14(2):116-22.

125. Morin J-B, Petrakos G, Jimenez-Reyes P, Brown SR, Samozino P, Cross MR. Very-heavy sled training for improving horizontal force output in soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;12(6):840-4.
126. Zafeiridis A, Saraslanidis P, Manou V, Ioakimidis P, Dipla K, Kellis S. The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *J Sports Med Phys Fitness*. 2005;45(3):284-90.
127. Ross A, Leveritt M, Riek S. Neural influences on sprint running. *Sports Med*. 2001;31(6):409-25.
128. Van Hooren B, Bosch F. Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? Part I: A critical review of the literature. *J Sports Sci*. 2017;35(23):2313-21.
129. Van Hooren B, Bosch F. Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? Part II: Implications for exercise. *J Sports Sci*. 2017;35(23):2322-33.
130. Reeves ND, Narici MV. Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *J Appl Physiol*. 2003;95(3):1090-6.
131. Ettema G. Mechanical efficiency and efficiency of storage and release of series elastic energy in skeletal muscle during stretch-shorten cycles. *J Exp Biol*. 1996;199(9):1983-97.
132. Nagano A, Komura T, Fukashiro S. Effects of the length ratio between the contractile element and the series elastic element on an explosive muscular performance. *J Electromyogr Kinesiol*. 2004;14(2):197-203.
133. Comfort P, Bullock N, Pearson SJ. A comparison of maximal squat strength and 5-, 10-, and 20-meter sprint times, in athletes and recreationally trained men. *J Strength Cond Res*. 2012;26(4):937-40.
134. Cross MR, Lahti J, Brown SR, Chedati M, Jimenez-Reyes P, Samozino P, et al. Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLoS ONE*. 2018;13(4):e0195477.
135. McLean B. Biomechanics of running. *Handbook of Sports Medicine and Science: Running*; John Wiley & Sons; 2008. p. 28-43.

136. Schmidtbleicher D. Strength training: part 2: structural analysis of motor strength qualities and its application to training. *Sci Period Res Tech Sport*. 1985;5:1-10.
137. Schmidtbleicher D. Strength training: part 1: structural analysis of motor strength qualities and its application to training. *Sci Period Res Tech Sport*. 1985;4:1-12.
138. Siff M, Verkhoshansky Y. Supertraining. Denver, Colorado: Supertraining Institute; 2003.
139. Farley CT, Gonzalez O. Leg stiffness and stride frequency in human running. *J Biomech*. 1996;29(2):181-6.
140. Brughelli M, Cronin J. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(4):417-26.
141. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(2):364-80.
142. Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(2):340-9.
143. Giroux C, Rabita G, Chollet D, Guilhem G. What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *Int J Sports Med*. 2015;36(02):143-9.
144. Requena B, García I, Requena F, de Villarreal ES-S, Cronin JB. Relationship between traditional and ballistic squat exercise with vertical jumping and maximal sprinting. *J Strength Cond Res*. 2011;25(8):2193-204.
145. Puthoff ML, Darter BJ, Nielsen DH, Yack HJ. The effect of weighted vest walking on metabolic responses and ground reaction forces. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(4):746-52.
146. Linthorne NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys*. 2001;69(11):1198-204.

147. Gregson W, Drust B, Atkinson G, Salvo VD. Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *Int J Sports Med.* 2010;31(4):237-42.
148. Freitas TT, Calleja-Gonzalez J, Alarcon F, Alcaraz PE. Acute effects of two different resistance circuit training protocols on performance and perceived exertion in semiprofessional basketball players. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2):407-14.
149. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):551-5.
150. Carlock JM, Smith SL, Hartman MJ, Morris RT, Ciroslan DA, Pierce KC, et al. The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):534-9.
151. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sport Sci.* 2006;24(9):919-32.
152. Markovic G, Jaric S. Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(10):1757-64.
153. Nuzzo JL, McBride JM, Dayne AM, Israetel MA, Dumke CL, Triplett NT. Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects. *J Strength Cond Res.* 2010 May;24(5):1269-76.
154. Pazin N, Berjan B, Nedeljkovic A, Markovic G, Jaric S. Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles? *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(3):577-89.
155. Suzovic D, Markovic G, Pasic M, Jaric S. Optimum load in various vertical jumps support the maximum dynamic output hypothesis. *Int J Sports Med.* 2013;34(11):1007-14.
156. Carlos-Vivas J, Freitas TT, Cuesta M, Perez-Gomez J, De Hoyo M, Alcaraz PE. New tool to control and monitor weighted vest training load for sprinting and jumping in soccer. *J Strength Cond Res.* 2018.
157. Spencer M, Pyne D, Santisteban J, Mujika I. Fitness determinants of repeated-sprint ability in highly trained youth football players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2011;6(4):497-508.

158. Morin J-B, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(2):267-72.
159. Tous-Fajardo J, Gonzalo-Skok O, Arjol-Serrano JL, Tesch P. Enhancing change-of-direction speed in soccer players by functional inertial eccentric overload and vibration training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(1):66-73.
160. Carlos-Vivas J, Marín-Cascales E, Freitas TT, Perez-Gomez J, Alcaraz PE. Force-velocity-power profiling during weighted vest sprinting in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018.
161. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med.* 2016;46(10):1419-49.
162. Rodriguez-Marroyo JA, Antoñan C. Validity of the session rating of perceived exertion for monitoring exercise demands in youth soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(3):404-7.
163. van der Kruk E, van der Helm F, Veeger H, Schwab A. Power in sports: A literature review on the application, assumptions, and terminology of mechanical power in sport research. *J Biomech.* 2018.
164. Loturco I, Nimphius S, Kobal R, Bottino A, Zanetti V, Pereira LA, et al. Change-of direction deficit in elite young soccer players. *Ger J Exerc Sport Res.* 2018;48:228-34.
165. Hopkins WG. A spreadsheet for deriving a confidence interval, mechanistic inference and clinical inference from a P value. *Sportscience.* 2007;11:16-21.
166. Salaj S, Markovic G. Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *J Strength Cond Res.* 2011;25(5):1249-55.
167. Martinopoulou K, Argeitaki P, Paradisis G, Katsikas C, Smirniotou A. The effects of resisted training using parachute on sprint performance. *Biol Exerc.* 2011;7(1):7-23.
168. Paulson S, Braun WA. The influence of parachute-resisted sprinting on running mechanics in collegiate track athletes. *J Strength Cond Res.* 2011;25(6):1680-5.

XV – ANEXOS

ANEXO 1. ARTÍCULO N° 1: EFICACIA DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON ARRASTRE DE TRINEO (RST) PARA EL RENDIMIENTO DE ESPRINT: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS.

Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, & Martínez-Rodríguez A (2018). The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 48: 2143-2165.



The Effectiveness of Resisted Sled Training (RST) for Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-analysis

Pedro E. Alcaraz^{1,2} · Jorge Carlos-Vivas¹ · Bruno O. Oponjuru¹ · Alejandro Martínez-Rodríguez³

© Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018

Abstract

Background Sprinting is key in the development and final results of competitions in a range of sport disciplines, both individual (e.g., athletics) and team sports. Resisted sled training (RST) might provide an effective training method to improve sprinting, in both the acceleration and the maximum-velocity phases. However, substantial discrepancies exist in the literature regarding the influence of training status and sled load prescription in relation to the specific components of sprint performance to be developed and the phase of sprint.

Objectives Our objectives were to review the state of the current literature on intervention studies that have analyzed the effects of RST on sprint performance in both the acceleration and the maximum-velocity phases in healthy athletes and to establish which RST load characteristics produce the largest improvements in sprint performance.

Methods We performed a literature search in PubMed, SPORTDiscus, and Web of Science up to and including 9 January 2018. Peer-reviewed studies were included if they met all the following eligibility criteria: (1) published in a scientific journal; (2) original experimental and longitudinal study; (3) participants were at least recreationally active and towed or pulled the sled while running at maximum intensity; (4) RST was one of the main training methods used; (5) studies identified the load of the sled, distance covered, and sprint time and/or sprint velocity for both baseline and post-training results; (6) sprint performance was measured using timing gates, radar gun, or stopwatch; (7) published in the English language; and (8) had a quality assessment score > 6 points.

Results A total of 2376 articles were found. After filtering procedures, only 13 studies were included in this meta-analysis. In the included studies, 32 RST groups and 15 control groups were analyzed for sprint time in the different phases and full sprint. Significant improvements were found between baseline and post-training in sprint performance in the acceleration phase (effect size [ES] 0.61; $p=0.0001$; standardized mean difference [SMD] 0.57; 95% confidence interval [CI] -0.85 to -0.28) and full sprint (ES 0.36; $p=0.009$; SMD 0.38; 95% CI -0.67 to -0.10). However, non-significant improvements were observed between pre- and post-test in sprint time in the maximum-velocity phase (ES 0.27; $p=0.25$; SMD 0.18; 95% CI -0.49 to 0.13). Furthermore, studies that included a control group found a non-significant improvement in participants in the RST group compared with the control group, independent of the analyzed phase.

Conclusions RST is an effective method to improve sprint performance, specifically in the early acceleration phase. However, it cannot be said that this method is more effective than the same training without overload. The effect of RST is greatest in recreationally active or trained men who practice team sports such as football or rugby. Moreover, the intensity (load) is not a determinant of sprint performance improvement, but the recommended volume is > 160 m per session, and approximately 2680 m per total training program, with a training frequency of two to three times per week, for at least 6 weeks. Finally, rigid surfaces appear to enhance the effect of RST on sprint performance.

✉ Pedro E. Alcaraz
pedro.e.alcaraz@gmail.com

✉ Alejandro Martínez-Rodríguez
amartinezrodriguez@ua.es

Extended author information available on the last page of the article



Key Points

Resisted sled training (RST) is an effective training method for the development of sprint performance, specifically in the early acceleration phase (≤ 10 m), independent of participant and load characteristics. However, the effects are larger in male, trained, and team sports athletes. Conversely, this method is not more effective than the resisted sprint in improving sprint performance.

RST has a small effect on performance in the maximum-velocity phase (≥ 15 -m flying sprints at maximum intensity using a run-in distance of ≥ 10 m) and/or when performing sprints ≥ 20 m.

There is no optimal load for RST, and the load should be adapted according to the desired objective. However, when replicating the demands of sprinting (i.e., the movement pattern, load, and movement velocity) using sled towing with a slight overload, the load must never be $> 20\%$ of body mass.

1 Introduction

Sprinting is recognized as the fastest mode of unaided human locomotion. It is an important action that humans have employed since prehistoric times, not only as a determinant of survival but also as a key activity in the development and final results of competitions in a range of sport disciplines, both individual (e.g., athletics) and team sports (e.g., soccer, rugby, American football, basketball, futsal, or field hockey). For example, straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional soccer [1]. In addition, professional soccer players, for whom sprinting is key, have become faster over time [2, 3], independent of sex and/or age [4]. However, the maximum expression of a sprint is represented in the 100-m dash final in the Olympic games, a sporting event with some of the largest social media and sporting repercussions worldwide. Therefore, sprinting has been extensively studied from both a biomechanical and a physiologic point of view [5].

In a 100-m race, for instance, as in many other sports in which speed is of crucial importance, there are several clearly defined phases, but these can be summarized in two: acceleration and maximum-velocity phases. The acceleration phase is characterized by the athlete starting the sprint from a semi-static position and increasing their speed rapidly in a short period of time; in the maximum-velocity phase, the athlete moves at high speed that is maintained without any apparent acceleration. It is of utmost importance to emphasize that, in some cases, these phases are not related,

since different factors affect performance in each phase; in addition, not all sports include both phases [6]. Therefore, training protocols to develop each of these phases must also differ. For example, the main muscle groups involved in the acceleration phase are the ankle, knee, and hip extensors [7]. Given the limited time available to produce force during a sprint, the main manifestation of force is explosive, defined as the development of maximal force in minimal time, or rate of force development (RFD) [8]. An athlete's position, with a slight body lean, relates to the horizontal net ground reaction force (GRF), which is paramount to accelerate the body forward [9], with higher contact times (CTs) [9, 10] and ratio of forces (horizontal:vertical GRF), when compared with the maximum-velocity phase [9]. In contrast, the main muscle groups involved in the maximum-velocity phase are the hip and ankle extensors, which contribute to greater vertical GRF (vGRF) [11]. Weyand and colleagues [12, 13] stated that top speed was mechanically limited by maximal vGRF, presenting a strong positive relationship between top speed and the average vGRF applied during the first half of the stance period [14]. Therefore, it seems that, together with RFD, maximum (relative) strength may play an important role in this phase. It should be noted that the maximal-velocity phase includes an asymmetrical production of force and the RFD is very high [15] as a result of much shorter ground CT than observed in the acceleration phase [9, 16, 17]. In addition, the erect stance-phase posture that sprinters adopt in this phase likely contributes to the stiffness required to decelerate the limb and body relatively quickly after the instant of foot-ground impact [14], all in order to produce the maximum possible mechanical power that generates a high horizontal velocity. Notably, neuromuscular function is vital to sprint performance, because the activity and the interaction of the central nervous system with the muscles ultimately influence muscle RFD, given that the stretch-shortening cycle (SSC) actions are particularly prevalent in sports involving sprinting [15]. Thus, efficient usage of the SSC can recover approximately 60% of the total mechanical energy, with a higher contribution of non-metabolic energy sources with increases in running speed [18, 19].

For sprint training, given the above-mentioned factors, it is typical to recommend different classifications of training methods, such as that based on the specificity of the method and its similitude with the sprint's technique [20]. MacDougall and Sale [21] suggested that training should be specific with regards to movement pattern, contraction velocity, muscle activation type, and applied force. In fact, a recent study showed that chronic performance and biomechanical adaptations are associated with vertically and horizontally oriented conditioning regimens [22]. Plisk [20] established primary methods that simulate the sprint movement pattern (sprint-technique drills,

stride length and frequency exercises, and sprints of varying distances and intensities); secondary methods that simulate the sprint action but with a slight overload or degree of assistance (resisted or assisted methods, respectively); and tertiary methods, characterized by non-specific sprint development (resistance training, plyometric training, complex training, stretching, etc.) [23–25]. It is also typical to classify sprint training methods according to the force–velocity (F–V) relationship of muscle shortening, described by Hill and colleagues [26, 27] many years ago. The F–V relationship describes a characteristic property of the muscle that dictates its power-production capacities [28]. Because mechanical power is the expression of both force and velocity, it is generally accepted that improving force-production potential and/or velocity of movement is effective when seeking to improve short-distance sprinting [29]. Based on contemporary scientific knowledge, it is evident that maximal (relative) strength, the RFD, and peak power-generating capacity are all important attributes that need to be developed when implementing strength and conditioning programs [30] to increase sprint performance during the entire season. Haff and Nimphius [30] suggested a mixed-methods approach in which a variety of loads and exercise types are used in a periodized fashion to optimize power output. In this context, resisted and assisted sprint training protocols play a key role [30].

One of the most traditional secondary methods to improve sprint performance is resisted sled training (RST), mainly due to its greater effect on horizontal forces [31, 32] when compared with tertiary methods, which have a greater vertical orientation of resistance forces [29]. RST has been applied in sports for decades, evolving from the pull of a wheel to current electromechanical devices that regulate the load to produce the loss of speed desired by the athlete (i.e., 1080 Motion™). Traditionally, and mainly addressing the principle of specificity, the most popular manuals and training guides [33, 34] have recommended that normal unresisted (UR) sprint biomechanics should be maintained when RST is used. Hence, loads should be chosen based on the sport and the athlete's physical status. For example, track and field sprinters may use loads that do not decrease running velocity by more than 10–12% of body mass (BM) [35–37]. In contrast, field sport athletes who overcome external resistance while blocking and tackling can use loads 20–30% of BM to improve early acceleration [38, 39]. This hypothesis has been widely accepted, since it is believed that the production of mechanical power when the load increases is significantly reduced [40]. This reduction of mechanical power is associated with an improper configuration of the athlete's levers (involving different motor units or even muscle groups), an increase in the CT, and no possibility of adequate use of the SSC. Thus, recent studies have tried to elucidate the load that maximizes mechanical power in

RST, with some resulting controversy. Monte et al. [40] indicated that the maximum power produced when using RST occurs with loads close to 20% BM, without inducing significant changes in the sprint technique when this load was used, whereas Cross et al. [41] indicated that the maximum power output is achieved with loads near 80% BM. However, this latter study [41] has the limitation of not having measured the effect on kinematic parameters and measuring the horizontal power when the athletes achieved the maximum velocity of sprint, given that the maximum power output in sprinting is known to usually occur in the first steps. Moreover, the horizontal force and power decreased by 82.0% and 62.5%, respectively, from the first to the last step during the 20-m sprint with sled towing [40]. Interestingly, both studies have used the method developed by Samozino et al. [42] to calculate the horizontal power production but in different disciplines (sprinters vs. soccer players) and in different phases. These authors indirectly estimated the anterior-posterior (horizontal) force of a sprint from spatio-temporal parameters and, consequently, calculated the horizontal power production during the sprint.

From a kinematic point of view, cross-sectional studies have focused on the effects of RST on different variables such as stride length (SL), CT, flight times (FT), and joint angles. For example, Alcaraz et al. [31] showed a decrease in SL and running velocity with an RST load of 16% BM but observed no significant changes in running technique (i.e., by analyzing the joint angles). In addition, various studies [37, 40, 43, 44] showed a decrement in FT and SL, and an increase in CT as a function of sled load. From a kinetic point of view, Martínez-Valencia et al. [45] found an acute, significant RFD increase when added loads were 15–20% BM compared with an UR sprint. In addition, other authors have concluded that RST, mainly with high loads (30% BM), increases relative net horizontal and propulsive impulse production compared with UR sprinting by directing force production more horizontally and by allowing longer time to apply force against the ground [32], which could be transferred to a better application of horizontal GRF. However, the same research team compared the short-term effect (8 weeks) of using RST with low loads (~13% BM) versus higher loads (~43% BM) [39] and did not find significant differences between the groups, either for improvement of performance or horizontal GRFs. Therefore, there is no agreement on whether low or high loads are more beneficial from both a kinetic and a kinematic point of view when increases in performance in the short and medium term are sought.

In sprinting with RST, the additional resistance experienced by the athlete arises mainly from the frictional force between the base of the sled and the running surface. This frictional force is approximately proportional to the total weight of the sled, and the coach may manipulate the

resistance experienced by the athlete by changing the weight placed on the sled. The greater the added weight, the greater the friction, and hence the slower the athlete's acceleration and the lower the maximum speed achieved by the athlete. The coefficient of friction between the sled and the running surface is determined by the type and surface roughness of the materials used in the base of the sled and running surface. For this reason, the use of different surfaces (grass vs. athletics track) can produce different stimuli with the same load [46, 47]. Another factor that can alter friction is the inertia of the sled, which is higher when the sled moves at low speed.

Finally, a recent systematic review by Petrakos et al. [47] described in detail the training recommendations in the existing literature. However, the authors concluded that performance benefits of RST over UR training remain to be conclusively demonstrated. Between-study comparisons are limited, primarily due to discrepancies in participant training status and level and sled load prescription, indicating that future work is required to define the optimal training load for RST, depending on the specific components of sprint performance to be enhanced.

In an effort to clarify discrepancies in the literature, the following questions should be addressed: (1) does RST improve sprint performance; (2) will the effect be greater when RST is used for the different phases of sprint; (3) is RST more effective than UR sprinting; (4) what is the optimal load when applying RST for obtaining higher sprint adaptations; (5) should the load be different for the different phases of sprint; (6) does RST have a different effect on athletes depending on age; (7) will the effect be greater if the athlete is highly trained; (8) how many days per week should RST be applied; (9) for how many weeks should RST be applied; and (10) can the surface affect the performance adaptations?

Therefore, and in response to the questions raised by the current literature, the objective of this systematic review with meta-analysis is twofold: (1) to review the state of the current literature on intervention studies that have analyzed the effects of RST on sprint performance both in the acceleration and the maximum-velocity phase in healthy athletes and (2) to establish which RST load characteristics are associated with the greatest improvements in sprint performance.

2 Methods

We followed the Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines [48] for search procedures, study selection, data collection, and analysis.

2.1 Literature Research and Data Sources

The search was performed by two independent reviewers (AM and BO) using the following databases to identify studies for this review: PubMed, SPORTDiscus, and Web of Science. The search results were limited to studies published up to and including 9 January 2018. Reviewers used a computerized and manual library search with the following Boolean search phrases in all of the mentioned databases: ("Sprint" OR "Pulling" OR "Towing" OR "Training") AND ("Sled" OR "Resisted"). Figure 1 shows the flow diagrams for the entire search process for both variables.

2.2 Inclusion Criteria

The following inclusion criteria had to be met for a study to be considered for this review: (1) type of publication: the current research only considered articles published in scientific journals; (2) type of study: original experimental and longitudinal studies were considered; (3) participants: the study participants were at least recreationally active who towed or pulled the sled while running at maximum intensity; (4) intervention: sled towing and sprinting must have been one of the training methods used; (5) outcome measures: studies must have identified the load of the sled used, distance tested up to a maximum of 100 m in at least one of sprint time and/or sprint velocity, pre-test and post-test results, and test used; (6) tests must have been measured by an automated electronic machine, such as timing gates or a radar gun, or by a manual method such as a stopwatch; (7) only studies in English were considered; (8) quality assessment: a score > 6 points on the Physiotherapy Evidence Database scale (PEDro) for systematic review [49–51].

All studies that included the time used to cover a maximum distance of 10 m were utilized for the subgroup analysis of the acceleration phase. All studies that measured the time used to cover a distance of at least 15 m at maximum intensity using a run-in distance of ≥ 10 m before recording time were used for the subgroup analysis of the maximum-velocity phase. All studies that included the time used to cover a distance of at least 20 m were used for the subgroup analysis of the full sprint. For studies that did not include the time but showed the average speed and the covered distance, the time was calculated as $\text{time} = \text{distance} / \text{average speed}$. Likewise, for the studies that included the sprint time and presented the acceleration phase and the full sprint data, or the acceleration phase and the maximum-velocity phase, the time was calculated as the subtraction or summation (based on the conditions, respectively) of the known mean data.

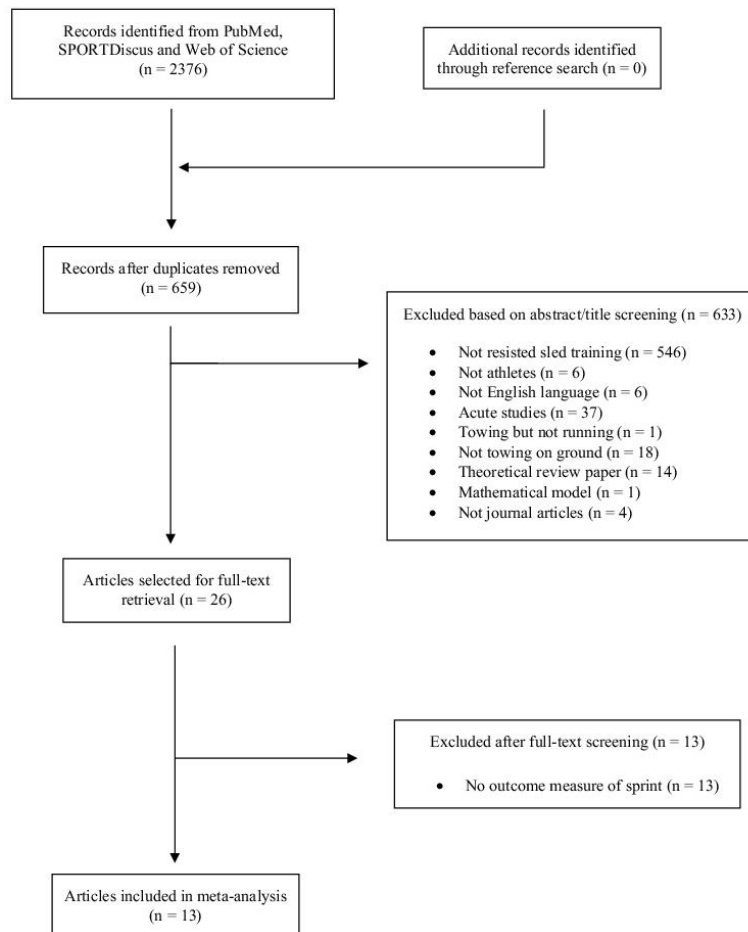


Fig. 1 Flow diagram of the process of study selection

2.3 Study Selection

Two reviewers (AM and BO) independently evaluated the titles and abstracts of the studies that resulted from the search. Disagreements between the two reviewers were resolved by discussion; if necessary, a third reviewer (PA) was consulted to reach a consensus.

For this review, only studies that met the eligibility criteria were selected. Reviewers independently assessed the methodological quality of the eligible studies using the PEDro scale [49–51].

2.4 Data Extraction and Analysis

One reviewer (AM) extracted the following information from each full-text article, and a second reviewer (BO) confirmed the extraction. Disparities in data abstraction were resolved by a third reviewer (PA).

Review Manager Software (RevMan 5.2; Cochrane Collaboration, Oxford, UK) and Comprehensive Meta-analysis software (Version 2; Biostat, Englewood, NJ, USA) were used for meta-analysis. A randomized effect model was used. Heterogeneity among studies was assessed using I^2 statistics.

Subgroup analyses were performed to evaluate the potential moderating factors or variables. For continuous variables comparison, the cut-off values based on medians from the full sprint analysis were used. However, in specific cases, the cut-off was established in an arbitrary way (i.e., load). Publication bias was evaluated using the estimating funnel plot asymmetry test. A p value of < 0.05 was considered statistically significant. The standard deviation (SD) was calculated as the square root of the summation of the squared SDs of the mean time in the known conditions. Cohen's d was used to calculate the effect size (ES, 95% confidence limit) of each study using the following equation [52]:

$$ES = \frac{M_{pre} - M_{post}}{Spre} \left(1 - \frac{3}{4n - 5} \right)$$

where M_{pre} is the mean value before the CT intervention, M_{post} is the mean value after the intervention, n is the sample size of the CT group, and $Spre$ is the SD pre-intervention.

Threshold values for Cohen's ES statistics were > 0.2 (small), > 0.6 (moderate), and > 1.2 (large) [53].

2.5 Risk of Bias

Methodological quality and risk of bias were independently assessed via visual interpretation of the funnel plot by two authors (AM, BO), with disagreements resolved by a third party evaluator (PA), in accordance with Cochrane Collaboration guidelines [54].

3 Results

3.1 Characteristics of Included Studies

A total of 2376 studies were found following the study selection procedures, and 659 studies remained after duplicates were removed. Finally, 13 studies [39, 55–66] were included in this meta-analysis (Table 1). All included studies had an RST group that accounted for a total of 32 subgroups analyzed for sprint time. However, only ten studies [55–62, 64, 66] had control groups, which represented a total of 15 subgroups analyzed.

The quality (internal validity) of the trials, according to a PEDro scale [51], was high. The mean score was eight of a possible ten points.

3.2 Characteristics of the Interventions

Table 2 shows the characteristics of the different RST intervention groups. The sled-towing exercise load performed ranged from 5 to 80% of BM. The interventions ranged from 4 to 10 weeks in duration, with a frequency of one to three

sessions-week⁻¹. The distance covered in sprint assessment ranged from 10 to 50 m. Regarding the sprint time assessment, nine studies used photoelectric cells [39, 55, 57, 58, 61–65], three studies used a stopwatch [56, 59, 60], and only one study used an indirect method [66] that was recently validated by Samozino et al. [42] to record sprint performance.

3.3 Acceleration Phase

The effect of RST on sprint time was measured in 144 participants. The results of the overall effects on sprint time showed a significant and moderate improvement between pre- and post-test on the sprint performance (ES 0.61; $p = 0.0001$; standardized mean difference [SMD] 0.57; 95% confidence interval [CI] -0.85 to -0.28), with an average heterogeneity of $I^2 = 28\%$ (Fig. 2) [39, 55–57, 59–66]. Furthermore, in the studies that included a control group, a non-significant improvement was found in participants belonging to the RST group compared with the control group (ES 0.09; $p = 0.64$; SMD 0.07; 95% CI -0.37 to 0.23), with an average heterogeneity of $I^2 = 0\%$ (Fig. 3) [55–57, 59–62, 64, 66].

Table 3 presents the subgroup analysis assessing potential moderating factors for sprint time on the acceleration phase of sprint. Regarding the population characteristics, significant ($p \leq 0.05$) improvements were found for age, sex, and level. Moderate ESs were obtained for age (ES $< 21 = 0.60$; $\geq 21 = 0.62$), male sex (ES 0.73), recreationally active (ES 0.75), and trained (ES 0.84). However, non-significant improvements were found for female sex (ES 0.14) and highly trained (ES 0.30). Additionally, between-subgroup analyses revealed significant ($p \leq 0.05$) differences for sex and level.

Concerning the exercise characteristics, significant ($p \leq 0.05$) improvements were found for lower loads ($< 20\%$ BM) (Fig. 4), training frequency, training period duration, session volume, total training volume, and rigid and grass surfaces. A large ES was obtained for a frequency over twice a week (ES 1.85) [55], and moderate ESs were found for lower loads (ES 0.61) [39, 55–57, 59–65], > 6 -week training periods (ES 0.63) [39, 55, 56, 60, 63–66], session volume > 160 m (ES 0.92) [55, 56, 59, 60, 64], total training volume > 2680 m (ES 0.83) [55, 59, 60, 64], and rigid surface (ES 0.69) [39, 56, 61, 64]. Small ESs were also found for a training frequency equal to or fewer than two trainings per week (ES 0.52) [39, 56, 57, 59–66], a total training volume < 2680 m (ES 0.53) [39, 56, 57, 61–63, 65, 66], and grass surface (ES 0.47) [59, 60, 65, 66]. However, non-significant improvements were found for higher loads ($\geq 20\%$ BM; ES 0.63) [39, 63, 66], a training period ≤ 6 weeks (ES 0.55) [57, 59, 61, 62], and track surface (ES 0.64) [55, 57, 62, 63]. Additionally, significant ($p \leq 0.05$) differences were found for frequency of training between subgroups; however,

Effectiveness of RST for Sprint Performance

Table 1 Main characteristics^a of studies included in the meta-analysis

Study	Type	N		Females (%)	Age (years)	Weight	Height	Level
		CG	RST					
Alcaraz et al. [62]	A: 0–15 m B: 15–50 m C: 0–50 m	11	11	45	21.5 ± 2.2	69.8 ± 14.7	173.0 ± 10.5	Highly trained
Bachero-Mena et al. [63]	LL-A: 0–20 m LL-B: 20–40 m LL-C: 0–40 m ML-A: 0–20 m ML-B: 20–40 m ML-C: 0–40 m HL-A: 0–20 m HL-B: 20–40 m HL-C: 0–40 m	–	7	0	21.9 ± 2.3	75.8 ± 10.7	180.9 ± 6.8	Recreationally active
Clark et al. [58]	B: 18.3–54.9 m	7	7	0	19.7 ± 1.0	87.9 ± 17.3	181.15 ± 6.8	Trained
De Hoyos et al. [65]	A: 0–20 m B: 20–50 m C: 0–50 m	–	13	0	17.0 ± 1.0	73.1 ± 2.56	178.24 ± 1.3	Highly trained
Harrison and Bourke [57]	A: 0–10 m	7	8	0	20.5 ± 2.8	87.0 ± 10.5	NA	Highly trained
Kawamori et al. [39]	LL: 0–10 m HL: 0–10 m	–	11	0	22.3 ± 5.2	82.5 ± 9.0	183.0 ± 0.07	Trained and recreationally active
Lockie et al. [59]	A: 0–10 m	9	9	0	23.1 ± 4.2	83.1 ± 8.6	182.0 ± 0.1	Trained
Luteberget et al. [64]	A: 0–10 m B: 10–30 m C: 0–30 m	8	10	100	20.4 ± 3.1	74.6 ± 5.9	170.3 ± 5.3	Highly trained
Makaruk et al. [60]	A: 0–20 m	12	12	100	22.0 ± 0.9	61.5 ± 4.7	167.0 ± 0.1	Recreationally active
Morin et al. [66]	A: 0–20 m	6	10	0	26.3 ± 4.0	74.5 ± 5.3	177.0 ± 0.1	Trained
Spinks et al. [56]	A: 0–15 m	10	10	0	21.8 ± 4.2	83.3 ± 8.7	181.9 ± 6.2	Trained
West et al. [61]	A: 0–10 m B: 10–30 m C: 0–30 m	10	10	0	26.8 ± 3.0	90.2 ± 10.3	186.0 ± 8.0	Highly trained
Zafeiridis et al. [55]	A: 0–20 m B: 20–50 m C: 0–50 m	11	11	0	20.1 ± 1.9	73.1 ± 2.4	178.0 ± 7.0	Recreationally active

Data are mean, mean ± standard deviation, or *n*

A acceleration phase distance, B maximum-velocity phase distance, C full sprint distance, CG control group, HL high load, LL low load, ML medium load, NA not available, RST resisted sled training exercise-group

^aAll characteristics refer to the RST group

it should be taken into consideration that only one study evaluated a training frequency of more than twice a week.

3.4 Maximum-Velocity Phase

The effect of RST on sprint time in the maximum-velocity phase was measured in 81 participants. The results of the overall effects on sprint time showed a non-significant improvement between pre- and post-test on the sprint time (ES 0.27; $p=0.25$; SMD 0.18; 95% CI – 0.49 to 0.13), with an average heterogeneity of $I^2=0\%$ (Fig. 5) [55, 58, 61–65].

Furthermore, the studies with a control group found a non-significant improvement in the RST group compared with the control group (ES 0.29; $p=0.23$; SMD 0.26; 95% CI – 0.16 to 0.68), with an average heterogeneity of $I^2=5\%$ (Fig. 6) [55, 58, 61, 62, 64].

Subgroup analysis assessing potential moderating factors for sprint time on the maximum-velocity phase of sprint is presented in Table 4. Both for population and exercise characteristics, the ESs were small or trivial (ES 0.00–0.43) in the maximum-velocity phase (Fig. 7).

Table 2 Characteristics of the resisted sled training interventions and sprint time assessment of the studies included in the meta-analysis

Study	Fre- quency (week ⁻¹)	Session volume (m)	Total train- ing volume (m)	Duration (weeks)	Surface	Load (% BM)	Sprint time assessment	
							Instrument	Total distance (m)
Alcaraz et al. [62]	2	90–180	1080	4	Track	~8 to 9	Photoelectric cells	50
Bachero-Mena et al. [63]	2	100–210	2115	7	Track	5 12.5 20	Photoelectric cells	40
Clark et al. [58]	2	240–400	4060	7	Rigid	10.2	Photoelectric cells	36.6
De Hoyos et al. [65]	1–2	120–200	2680	8	Grass	12.6	Photoelectric cells	50
Harrison and Bourke [57]	2	120	1440	6	Track	~13	Photoelectric cells	10
Kawamori et al. [39]	2	90–140	1740	8	Rigid	~13 ~43	Photoelectric cells	10
Lockie et al. [59]	2	195–320	3100	6	Grass	12.6	Velocimeter with stopwatch	10
Luteberget et al. [64]	2	240–280	5200	10	Rigid	12.4	Photoelectric cells	30
Makaruk et al. [60]	2	180–360	6210	9	Grass	7.5–10	Stopwatch	20
Morin et al. [66]	2	100	1600	8	Grass	80	Indirect method	20
Spinks et al. [56]	2	215–340	4090	8	Rigid	12.6	Stopwatch	15
West et al. [61]	2	60	720	6	Rigid	12.6	Photoelectric cells	30
Zafeiridis et al. [55]	3	280	6720	8	Track	~6.8	Photoelectric cells	50

Data are mean or range

BM body mass

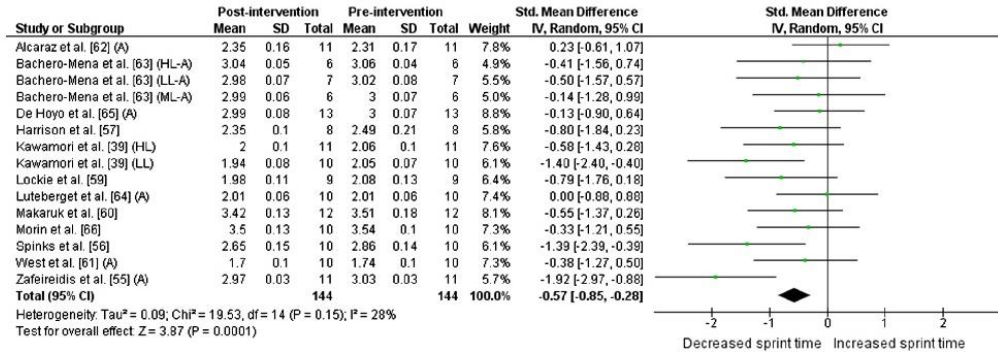


Fig. 2 SMD between post and pre-intervention for sprint time in the acceleration phase. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. A acceleration phase,

CI confidence interval, HL high load, IV independent variable, LL low load, ML moderate load, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

3.5 Full Sprint

The effect of RST on sprint time in the full sprint was measured in 96 participants. The results of the overall effects on sprint time showed a significant ($p \leq 0.05$) improvement between pre- and post-test in sprint performance (ES 0.36; $p = 0.009$; SMD 0.38; 95% CI -0.67 to -0.10), with an

average heterogeneity of $I^2 = 0\%$ (Fig. 8) [55, 60–66]. However, the studies with a control group found a non-significant improvement in the RST groups compared with the control groups (ES 0.05; $p = 0.89$; SMD 0.03; 95% CI -0.40 to 0.47), with an average heterogeneity of $I^2 = 0\%$ (Fig. 9) [55, 61, 62, 64].

Effectiveness of RST for Sprint Performance

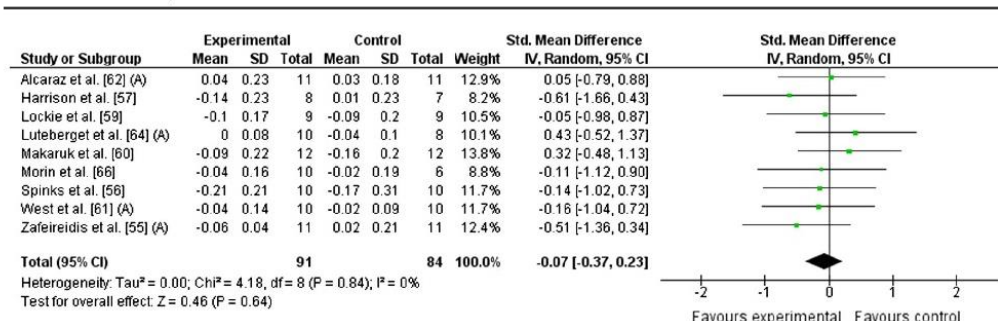


Fig. 3 SMD in post-intervention sprint time between intervention and control athletes for sprint time in the acceleration phase. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD

across trials. A acceleration phase, CI confidence interval, IV independent variable, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

Table 5 presents the subgroup analysis assessing potential moderating factors for sprint time on the full sprint. Small ESs (0.24–0.53) were found for both population and exercise characteristics. Furthermore, significant ($p \leq 0.05$) improvements with small ESs were found for younger athletes (aged < 21 years; ES 0.37) [55, 63–65], male sex (ES 0.34) [55, 61, 63, 65, 66], team-sports athletes (ES 0.42) [60, 61, 64–66], using a load < 20% BM (ES 0.35) (Fig. 10) [55, 60–65], a training frequency equal to or less than twice a week (ES 0.35) [60–66], a period of training > 6 weeks (ES 0.39) [55, 60, 63–66], a session volume > 160 m (ES = 0.53) [55, 60, 64], and total training volume > 2680 m (ES 0.53) [55, 60, 64].

3.6 Evaluation of Potential Bias

Visual interpretation of the funnel plot was performed to evaluate potential bias. SMD between pre- and post-intervention sprint time in RST participants was considered notably symmetrical, suggesting the absence of a significant publication bias. Similar results were obtained for the evaluation of potential bias of the SMD in post-intervention sprint time between RST and control group athletes.

4 Discussion

RST has been used extensively to improve sprint performance. However, because there are many variables to manipulate (load, distance, friction, etc.) with this type of device, substantial controversy has been generated, both in the scientific community and in the field of training, regarding the optimal training protocol. The main objective of this systematic review with meta-analysis was to determine

whether RST effectively improves sprint performance, in both its acceleration and maximum-velocity phases. Second, we intended to establish which variables are associated with the largest RST-induced improvements. The main finding of the present analysis is that RST improves sprint performance, mainly in its early acceleration phase. However, its effect is trivial or low in the maximum-velocity phase or in sprints of ≥ 20 m. Also, no additional benefit was observed when RST was compared with UR conditions. Furthermore, it was determined that the magnitude of its effect on sprint performance is related to the selected population and/or training characteristics.

4.1 Acceleration Phase

As mentioned in Sect. 1, training with sled towing is an appropriate method for improving the early acceleration phase of the sprint (here defined as 0–10 m), with a moderate and significant effect. However, it is no more effective than performing the same sprint training without overload. The explanation for these results is that most studies use loads close to a subject’s BM, making the differences in load very small. This fact has led some researchers [41, 66] to think that higher loads may have to be used for the improvements to be significantly greater than when lower loads are used. However, given the low number of studies using loads > 20% BM, the effect is similar (0.61 vs. 0.63, respectively), and the effect pre-post is not significant with high loads. This finding may be explained by some of the main characteristics that make the human being run at great speed, such as muscular mechanical properties (i.e., the capacity for adequate use of the elastic elements, both in series and in parallel), considering here the SSC, RFD, as well as the H reflex. It is clear that the SSC and H reflex can be developed in situations

P. E. Alcaraz et al.

Table 3 Subgroup analysis assessing potential moderating factors for sprint time in the acceleration phase in the studies included in the meta-analysis

Population characteristics	Studies		Resisted sled training				
	Number ^a	References	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	p	p _{Difference}
Age (~ 17 to 27 years)							
< 21 y.o.	7	Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A, HL-A de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Luteberget et al. [64]: A Zafeiridis et al. [55]: A	-0.53 (-1.01 to -0.04)	0.60	40	0.03	0.81
≥ 21 y.o.	8	Alcaraz et al. [62]: A Kawamori et al. [39]: LL, HL Lockie et al. [59] Makaruk et al. [60] Morin et al. [66] Spinks et al. [56] West et al. [61]: A	-0.60 (-0.97 to -0.23)	0.62	25	0.001	
Sex							
Female ≥ 45% sample	3	Alcaraz et al. [62]: A Luteberget et al. [64]: A Makaruk et al. [60]	-0.12 (-0.60 to 0.37)	0.14	0	0.64	0.05
Male	12	Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A, HL-A de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Kawamori et al. [39]: LL, HL Lockie et al. [59] Morin et al. [66] Spinks et al. [56] West et al. [61]: A Zafeiridis et al. [55]: A	-0.70 (-1.01 to -0.39)	0.73	20	< 0.001	
Level							
Recreationally active	7	Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A, HL-A Kawamori et al. [39]: LL, HL Makaruk et al. [60] Zafeiridis et al. [55]: A	-0.79 (-1.24 to -0.34)	0.75	29	< 0.001	0.04
Trained	5	Kawamori et al. [39]: LL, HL Lockie et al. [59] Morin et al. [66] Spinks et al. [56]	-0.85 (-1.27 to -0.43)	0.84	0	< 0.001	
Highly trained	5	Alcaraz et al. [62]: A de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Luteberget et al. [64]: A West et al. [61]: A	-0.17 (-0.56 to 0.22)	0.30	0	0.39	
Sport characteristics							
Team sports	9	de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Kawamori et al. [39]: LL, HL Lockie et al. [59] Luteberget et al. [64]: A Morin et al. [66] Spinks et al. [56] West et al. [61]: A	-0.58 (-0.91 to -0.26)	0.66	11	< 0.001	0.07
Individual sports	1	Alcaraz et al. [62]: A	0.23 (-0.61 to 1.07)	0.23	NA	0.59	

Effectiveness of RST for Sprint Performance

Table 3 (continued)

Population characteristics	Studies		Resisted sled training				
	Number ^a	References	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	p	P _{Difference}
Exercise characteristics							
Load (5–80% BM)							
<20% BM	12	Alcaraz et al. [62]: A Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Kawamori et al. [39]: LL Lockie et al. [59] Luteberget et al. [64]: A Makaruk et al. [60] Spinks et al. [56] West et al. [61]: A Zafeiridis et al. [55]: A	−0.61 (−0.97 to −0.25)	0.61	43	<0.001	0.63
≥20% BM	3	Bachero-Mena et al. [63]: HL-A Kawamori et al. [39]: HL Morin et al. [66]	−0.45 (−0.99 to 0.10)	0.63	0		0.11
Frequency (1–3 week^{−1})							
≤2 week ^{−1}	14	Alcaraz et al. [62]: A Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A, HL-A de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Kawamori et al. [39]: LL, HL Lockie et al. [59] Luteberget et al. [64]: A Makaruk et al. [60] Morin et al. [66] Spinks et al. [56] West et al. [61]: A	−0.47 (−0.72 to −0.22)	0.52	0	<0.001	0.008
>2 week ^{−1}	1	Zafeiridis et al. [55]: A	−1.92 (−2.97 to −0.88)	1.85	NA	<0.001	
Duration (4–10 weeks)							
≤6 weeks	4	Alcaraz et al. [62]: A Harrison and Bourke [57] Lockie et al. [59] West et al. [61]: A	−0.38 (−0.87 to 0.11)	0.55	12		0.13 0.41
>6 weeks	11	Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A, HL-A de Hoyo et al. [65]: A Kawamori et al. [39]: LL, HL Luteberget et al. [64]: A Makaruk et al. [60] Morin et al. [66] Spinks et al. [56] Zafeiridis et al. [55]: A	−0.64 (−0.99 to −0.28)	0.63	35	<0.001	
Session volume (60–360 m)							
≤160 m	10	Alcaraz et al. [62]: A Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A, HL-A de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Kawamori et al. [39]: LL, HL Morin et al. [66] West et al. [61]: A	−0.40 (−0.70 to −0.11)	0.46	0		0.008 0.18

Table 3 (continued)

Population characteristics	Studies		Resisted sled training				
	Number ^a	References	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	p	p _{Difference}
> 160 m	5	Lockie et al. [59] Luteberget et al. [64]: A Makaruk et al. [60] Spinks et al. [56] Zafeiridis et al. [55]: A	-0.89 (-1.53 to -0.25)	0.92	57	0.006	
Total training volume (720–6720 m)							
≤2680 m	11	Alcaraz et al. [62]: A Bachero-Mena et al. [63]: LL-A, ML-A, HL-A de Hoyo et al. [65]: A Harrison and Bourke [57] Kawamori et al. [39]: LL, HL Morin et al. [66] Spinks et al. [56] West et al. [61]: A	-0.49 (-0.79 to -0.19)	0.53	9	0.001	0.48
>2680 m	4	Lockie et al. [59] Luteberget et al. [64]: A Makaruk et al. [60] Zafeiridis et al. [55]: A	-0.78 (-1.52 to -0.03)	0.83	62	0.04	
Surface							
Rigid	5	Kawamori et al. [39]: LL, HL Luteberget et al. [64]: A Spinks et al. [56] West et al. [61]: A	-0.71 (-1.24 to -0.18)	0.69	40	0.009	0.70
Track	6	Alcaraz et al. [62]: A Bachero-Mena et al. [63]: LL-A; ML-A; HL-A Harrison and Bourke [57] Zafeiridis et al. [55]: A	-0.57 (-1.19 to 0.05)	0.64	54	0.07	
Grass	4	de Hoyo et al. [65]: A Lockie et al. [59] Makaruk et al. [60] Morin et al. [66]	-0.42 (-0.84 to 0.01)	0.47	0	0.05	

Subgroup analyses were performed on SMD between post and pre-intervention sprint time. Median values of continuous variables were used as cut-off values for grouping studies. Changes in moderating factors were calculated as post-intervention minus pre-intervention values

A acceleration phase, B maximum-velocity phase, BM body mass, C full sprint, CI confidence interval, ES Cohen's *d* effect size, HL high load, I² heterogeneity, LL low load, ML medium load, NA not available, *p* test for overall effect, *p*_{Difference} test for subgroup differences, SMD standardized mean difference

^aNumber of intervention groups in the studies. Some enrolled studies were not included because the value used for subgroup analysis was not reported

where specific patterns of movement are replicated and load specificity occurs [67]. Therefore, an excess load may limit the development of the SSC, and—to a lesser degree—the coupling of the H reflex, despite the athlete's attempts to maintain the movement pattern. On the other hand, the muscle has been observed to work quasi-isometrically when sprinting [68, 69], allowing for greater tendon lengthening as load intensity increases [70] and for the tendon to act as a power amplifier as it recoils at high velocities [71, 72]. Therefore, if we take into account that the tendon demands are dependent on the movement velocity, the adaptations induced will also be velocity dependent. This appears to also explain why RST is much more effective in the acceleration

phase than in the maximum-velocity phase, where the movement velocity, the SSC, and H reflex are critical [67]. That is, in the acceleration phase, CT is greater than during the maximum-velocity phase, as is the involvement of horizontal force and the larger H:V force ratio. Moreover, it has been suggested that increases in maximal strength are more likely to increase short-distance (5-m) sprint performance [73].

One of the most analyzed variables that has consequently generated the greatest discrepancy among the scientific community in recent years, is the load that should be used when performing sled towing. Some authors [40] have shown that the maximum power production when using these methods occurs with loads around 20% BM, whereas others have

Effectiveness of RST for Sprint Performance

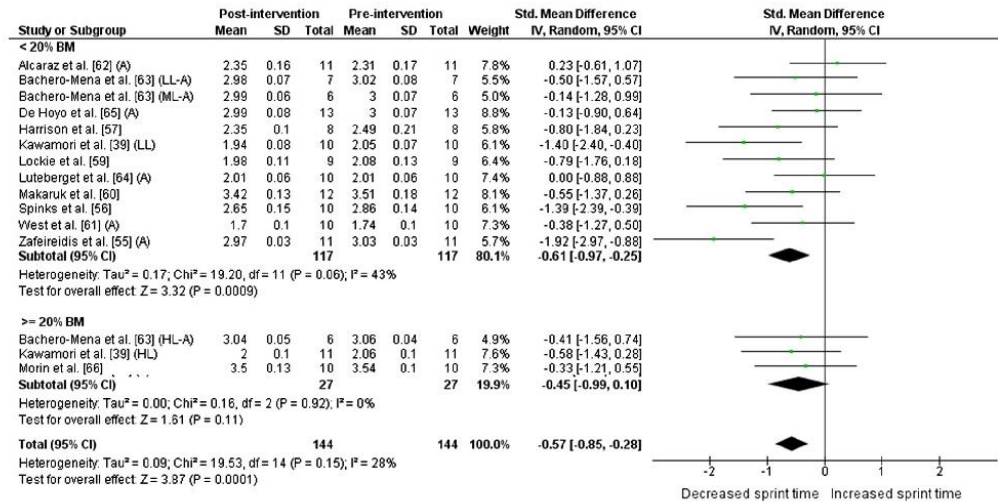


Fig. 4 SMD between post and pre-intervention for sprint time in the acceleration phase based on different load (subgroup analysis). Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. A acceleration phase, HL high load, ML moderate load, LL low load, BM body mass, CI confidence interval, IV independent variable, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

moderate load, LL low load, BM body mass, CI confidence interval, IV independent variable, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

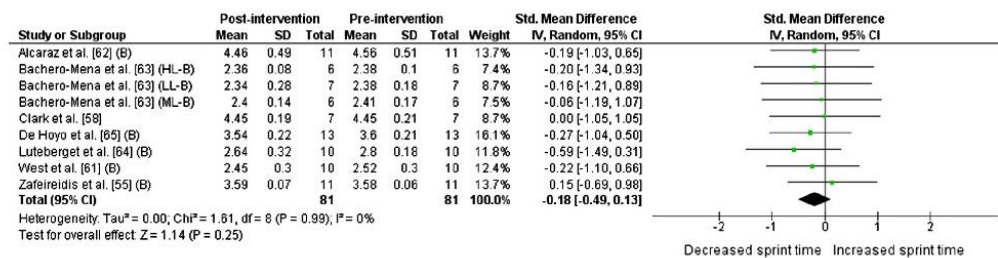


Fig. 5 SMD between post and pre-intervention for sprint time in the maximum-velocity phase. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. B maximum-

velocity phase, CI confidence interval, HL high load, IV independent variable, LL low load, ML moderate load, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

suggested that the maximum power output can be achieved with 69–96% BM [41]. It should be noted that Monte et al. [40] calculated and examined the load that maximizes power output with sprinters and for the full sprint (20 m) and analyzed the effect on the kinematics of the joints and segments. However, Cross et al. [41] calculated the maximum power output at the moment when participants (team-sports athletes) reached maximum sprint speed and did not calculate effect on sprint technique. In any case, it is not clear for this training method that training with the load that produces the maximum power output is the most effective method

for improving sprint performance. Hence, more research is needed in this regard.

As mentioned, the present meta-analysis observed that the effect on performance improvement was moderate when comparing loads <20% BM and loads ≥20% BM, with no significant improvements achieved with loads ≥20% BM. It should be noted that only three groups [39, 63, 66] used loads ≥20% BM and that these three groups were composed of team-sports athletes. Therefore, it cannot be inferred that the use of high loads is more effective than the use of low loads. In fact, the only study to use very high loads (80%

P. E. Alcaraz et al.

Table 4 Subgroup analysis assessing potential moderating factors for sprint time in the maximum-velocity phase in the studies included in the meta-analysis

Population characteristics	Studies		SMD (95% CI)	Resisted sled training			
	Number ^a	References		ES	I ² (%)	p	P _{Difference}
Age (~ 17 to 27 years)							
< 21 y.o.	7	Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B Clark et al. [58] de Hoyo et al. [65]: B Luteberget et al. [64]: B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.17 (-0.53 to 0.19)	0.26	0	0.35	0.92
≥ 21 y.o.	2	Alcaraz et al. [62]: B West et al. [61]: B	-0.21 (-0.81 to 0.40)	0.28	0	0.50	
Sex							
Female ≥ 45% simple	2	Alcaraz et al. [62]: B Luteberget et al. [64]: B	-0.38 (-0.99 to 0.24)	0.18	0	0.23	0.47
Male	7	Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B Clark et al. [58] de Hoyo et al. [65]: B West et al. [61]: B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.11 (-0.47 to 0.25)	0.23	0	0.54	
Level							
Recreationally active	4	Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.04 (-0.54 to 0.47)	0.21	0	0.89	0.67
Trained	1	Clark et al. [58]	0.00 (-1.05 to 1.05)	0.00	NA	1	
Highly trained	4	Alcaraz et al. [62]: B de Hoyo et al. [65]: B Luteberget et al. [64]: B West et al. [61]: B	-0.31 (-0.73 to 0.11)	0.39	0	0.15	
Sport characteristics							
Team sports	4	Clark et al. [58] de Hoyo et al. [65]: B Luteberget et al. [64]: B West et al. [61]: B	-0.29 (-0.73 to 0.15)	0.34	0	0.20	0.84
Individual sports	1	Alcaraz et al. [62]: B	-0.19 (-1.03 to 0.65)	0.20	NA	0.65	
Exercise characteristics							
Load (5–20% BM)							
< 20% BM	8	Alcaraz et al. [62]: B Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B Clark et al. [58] de Hoyo et al. [65]: B Luteberget et al. [64]: B West et al. [61]: B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.18 (-0.50 to 0.14)	0.26	0	0.28	0.97
≥ 20% BM	1	Bachero-Mena et al. [63]: HL-B	-0.20 (-1.34 to 0.93)	0.28	NA	0.73	
Frequency (1–3 week⁻¹)							
≤ 2 week ⁻¹	8	Alcaraz et al. [62]: B Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B Clark et al. [58] de Hoyo et al. [65]: B Luteberget et al. [64]: B West et al. [61]: B	-0.23 (-0.57 to 0.10)	0.25	0	0.17	0.41
> 2 week ⁻¹	1	Zafeiridis et al. [55]: B	0.15 (-0.69 to 0.98)	0.13	NA	0.73	
Duration (4–8 weeks)							
≤ 6 weeks	2	Alcaraz et al. [62]: B West et al. [61]: B	-0.21 (-0.81 to 0.40)	0.28	0	0.50	0.92

Effectiveness of RST for Sprint Performance

Table 4 (continued)

Population characteristics	Studies		SMD (95% CI)	Resisted sled training			
	Number ^a	References		ES	I ² (%)	p	p _{Difference}
>6 weeks	7	Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B Clark et al. [58] de Hoyo et al. [65]: B Luteberget et al. [64]: B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.17 (-0.53 to 0.19)	0.26	0	0.35	
Session volume (60–400 m)							
≤160 m	6	Alcaraz et al. [62]: B Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B De Hoyo et al. [65]: B West et al. [61]: B	-0.20 (-0.58 to 0.18)	0.32	0	0.31	0.87
>160 m	3	Clark et al. [58] Luteberget [64]: B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.15 (-0.67 to 0.38)	0.15	0	0.59	
Total training volume (720–6720 m)							
≤2680 m	6	Alcaraz et al. [62]: B Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B De Hoyo et al. [65]: B West et al. [61]: B	-0.20 (-0.58 to 0.18)	0.32	0	0.31	0.87
>2680 m	3	Clark et al. [58] Luteberget et al. [64]: B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.15 (-0.67 to 0.38)	0.15	0	0.59	
Surface							
Rigid	3	Clark et al. [58] Luteberget et al. [64]: B West et al. [61]: B	-0.30 (-0.84 to 0.24)	0.31	0	0.28	0.80
Track	5	Alcaraz et al. [62]: B Bachero-Mena et al. [63]: LL-B, ML-B, HL-B Zafeiridis et al. [55]: B	-0.08 (-0.51 to 0.36)	0.20	0	0.73	
Grass	1	de Hoyo et al. [65]: B	-0.27 (-1.04 to 0.50)	0.43	NA	0.49	

Subgroup analyses were performed on SMD between post and pre-intervention sprint time. Median values of continuous variables were used as cut-off values for grouping studies. Changes in moderating factors were calculated as post-intervention minus pre-intervention values

A acceleration phase, B maximum-velocity phase, BM body mass, C full sprint, CI confidence interval, ES Cohen’s d effect size, HL high load, I² heterogeneity, LL low load, ML medium load, NA not available data, p test for overall effect, p_{Difference} test for subgroup differences, SMD standardized mean difference

^aNumber of intervention groups in the studies. Some enrolled studies were not included because the value used for subgroup analysis was not reported

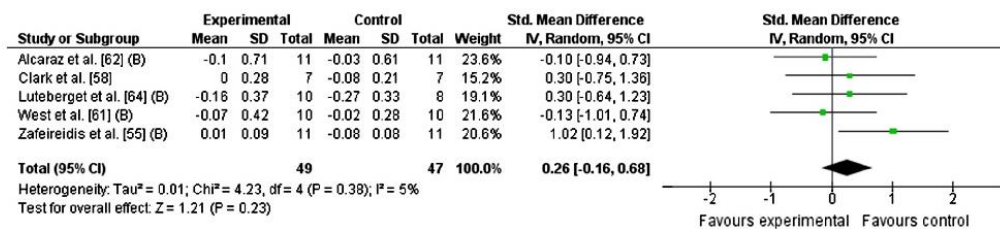


Fig. 6 SMD in post-intervention sprint time between intervention and control athletes for sprint time in the maximum-velocity phase. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the

pooled SMD across trials. B maximum-velocity phase, CI confidence interval, IV independent variable, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

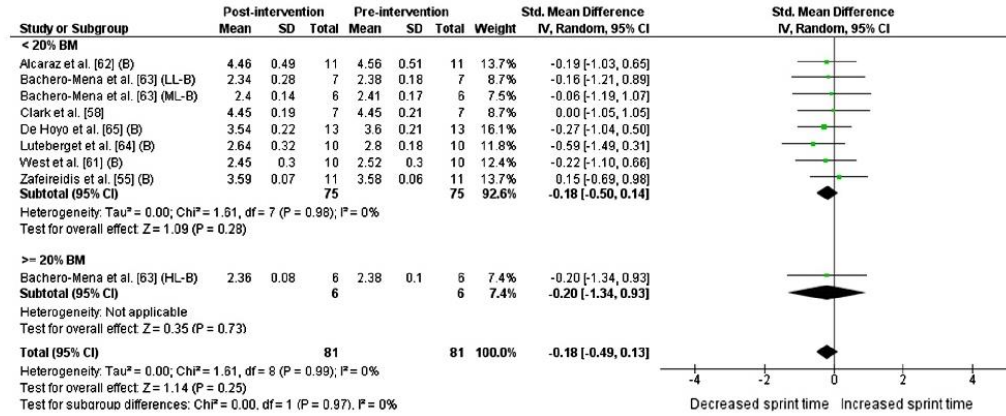


Fig. 7 SMD between post and pre-intervention for sprint time in the maximum-velocity phase based on different load (subgroup analysis). Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. B maximum-velocity phase, BM body

mass, CI confidence interval, HL high load, LL low load, ML moderate load, IV independent variable, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

BM) [66] found a small and trivial effect on performance of the 5- and 20-m sprint, respectively, which is similar to those found in the control group with the same training but without overload. Thus, Morin et al. [66] found only a moderate effect on the F0, (i.e., the force at velocity 0), or what would be equivalent to the maximum theoretical force of the participants, but not on V0 (i.e., which would be the equivalent of the maximum theoretical velocity of the players), according to the model proposed by the same authors [42]. As a consequence, the proposal of using RST with very heavy loads would only be justified as a tertiary method, which would affect the improvement of the force at low or null velocities “simulating” the movement pattern (and only in athletes who can maintain it). However, it is far from the load and velocity specificity, which are both decisive in the training of maximum power production, as explained by Cormie et al. [28] in their narrative review on maximal power production training. Another problem that can occur when using excessively high loads is that neither the SSC nor the H reflex are properly activated. In fact, training activities aimed at improving SSC performance should fulfill two criteria [15, 74–77]: (1) they should involve skillful, multi-joint movements that transmit forces through the kinetic chain and exploit elastic–reflexive mechanisms; and (2) they should be structured around brief work bouts or clusters separated by frequent rest periods to manage fatigue and emphasize work quality and technique.

Another point to consider is that chronic exposure to movements eliciting the SSC can increase muscle stiffness, which is a potential physiological advantage for sprint ability [78]. An optimal development of mechanical stiffness in the

human leg has a major positive influence on various athletic variables, including RFD, elastic energy storage and utilization, and therefore the SSC, and sprint kinematics (i.e., CT and FT, and SL and frequency) [79]. However, only Alcaraz et al. [62] analyzed the effects of sled towing on stiffness, and they found a slight non-significant reduction after a training period of 4 weeks (with low loads). However, this study observed that the group training without a sled experienced an improvement in stiffness that approached significance, suggesting that training that respects the principle of specificity can have a positive effect on one of the most important variables in sprinting (i.e., stiffness), whereas increasing the load can have the opposite effect. Given these findings and the recommendations based on a mixed-methods approach in which a variety of loads and exercise types are used in a periodized fashion to optimize power output, training with high loads could be an alternative to traditional resistance training. Thereby, using high-load RST to improve maximum strength, athletes train—to some extent—replicating the movement patterns of the sprint. However, when the aim is to work in the area of the force-velocity curve close to the demands of the competition, the RST must be carried out with low loads to develop all the mechanisms involved in this situation, such as the RFD, SSC, H reflex, and leg stiffness.

Regarding the characteristics of the population, statistically significant differences were observed only between levels of participants, with the effect being moderate for both recreationally active (ES 0.75) and trained participants (ES 0.84) but small for highly trained participants (ES 0.30). The explanation for these results lies in the fact that highly

Effectiveness of RST for Sprint Performance

Table 5 Subgroup analysis assessing potential moderating factors for sprint time during full sprint in the studies included in the meta-analysis

Population characteristics	Studies		Resisted sled training				
	Number ^a	References	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	p	p _{Difference}
Age (~17 to 27 years)							
<21 y.o.	6	Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C De Hoyo et al. [65]: C Luteberget et al. [64]: C Zafeiridis et al. [55]: C	-0.41 (-0.80 to -0.02)	0.37	0	0.04	0.83
≥21 y.o.	4	Alcaraz et al. [62]: C Makaruk et al. [60] Morin et al. [66] West et al. [61]: C	-0.35 (-0.78 to 0.08)	0.35	0	0.11	
Sex							
Female ≥45% sample	3	Alcaraz et al. [62]: C Luteberget et al. [64]: C Makaruk et al. [60]	-0.42 (-0.91 to 0.07)	0.41	0	0.09	0.84
Male	7	Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C De Hoyo et al. [65]: C Morin et al. [66] West et al. [61]: C Zafeiridis et al. [55]: C	-0.36 (-0.71 to -0.01)	0.34	0	0.04	
Level							
Recreationally active	4	Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C Zafeiridis et al. [55]: C	-0.38 (-0.90 to 0.13)	0.35	0	0.14	0.91
Trained	0	—	—	—	—	—	—
Highly trained	4	Alcaraz et al. [62]: C De Hoyo et al. [65]: C Luteberget et al. [64]: C West et al. [61]: C	-0.35 (-0.77 to 0.08)	0.32	0	0.11	
Sport characteristics							
Team sports	5	De Hoyo et al. [65]: C Luteberget et al. [64]: C Makaruk et al. [60] Morin et al. [66] West et al. [61]: C	-0.43 (-0.81 to -0.06)	0.42	0	0.02	0.51
Individual sports	1	Alcaraz et al. [62]: C	-0.12 (-0.96 to 0.71)	0.12	NA	0.77	
Exercise characteristics							
Load (5–80% BM)							
<20% BM	8	Alcaraz et al. [62]: C Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C De Hoyo et al. [65]: C Luteberget et al. [64]: C Makaruk et al. [60] West et al. [61]: C Zafeiridis et al. [55]: C	-0.38 (-0.70 to -0.07)	0.35	0	0.02	0.99
≥20% BM	2	Bachero-Mena et al. [63]: HL-C Morin et al. [66]	-0.39 (-1.09 to 0.32)	0.42	0	0.28	
Frequency (1–3 week ⁻¹)							
≤2 week ⁻¹	9	Alcaraz et al. [62]: C Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C de Hoyo et al. [65]: C Luteberget et al. [64]: C Makaruk et al. [60] Morin et al. [66] West et al. [61]: C	-0.37 (-0.67 to -0.06)	0.35	0	0.02	0.76
>2 week ⁻¹	1	Zafeiridis et al. [55]: C	-0.51 (-1.36 to 0.35)	0.46	NA	0.24	

Table 5 (continued)

Population characteristics	Studies		Resisted sled training				
	Number ^a	References	SMD (95% CI)	ES	I ² (%)	p	p _{Difference}
Duration (4–10 weeks)							
≤6 weeks	2	Alcaraz et al. [62]: C West et al. [61]: C	-0.24 (-0.85 to 0.37)	0.24	0	0.44	0.61
>6 weeks	8	Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C De Hoyo et al. [65]: C Luteberget et al. [64]: C Makaruk et al. [60] Morin et al. [66] Zafeiridis et al. [55]: C	-0.42 (-0.75 to -0.10)	0.39	0	0.01	
Session volume (60–360 m)							
≤160 m	7	Alcaraz et al. [62]: C Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C De Hoyo et al. [65]: C Morin et al. [66] West et al. [61]: C	-0.29 (-0.65 to 0.06)	0.29	0	0.10	0.40
>160 m	3	Luteberget et al. [64]: C Makaruk et al. [60] Zafeiridis et al. [55]: C	-0.56 (-1.05 to -0.06)	0.53	0	0.03	
Total training volume (720–6720 m)							
≤2680 m	7	Alcaraz et al. [62]: C Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C De Hoyo et al. [65]: C Morin et al. [66] West et al. [61]: C	-0.29 (-0.65 to 0.06)	0.29	0	0.10	0.40
>2680 m	3	Luteberget et al. [64]: C Makaruk et al. [60] Zafeiridis et al. [55]: C	-0.56 (-1.05 to -0.06)	0.53	0	0.03	
Surface							
Rigid	2	Luteberget et al. [64]: C West et al. [61]: C	-0.49 (-1.12 to 0.14)	0.42	0	0.13	0.90
Track	5	Alcaraz et al. [62]: C Bachero-Mena et al. [63]: LL-C, ML-C, HL-C Zafeiridis et al. [55]: C	-0.31 (-0.75 to 0.12)	0.31	0	0.16	
Grass	3	De Hoyo et al. [65]: C Makaruk et al. [60] Morin et al. [66]	-0.40 (-0.88 to 0.07)	0.42	0	0.10	

Subgroup analyses were performed on SMD between post and pre-intervention sprint time. Median values of continuous variables were used as cut-off values for grouping studies. Changes in moderating factors were calculated as post-intervention minus pre-intervention values

A acceleration phase, B maximum-velocity phase, BM body mass, C full sprint, CI confidence interval, ES Cohen's *d* effect size, HL high load, I² heterogeneity, LL low load, ML medium load, NA not available data, *p* test for overall effect, *p*_{Difference} test for subgroup differences, SMD standardized mean difference

^aNumber of intervention groups in the studies. Some enrolled studies were not included because the value used for subgroup analysis was not reported

trained athletes have a lower margin of improvement than recreationally active or trained athletes when any training protocol is applied [80]. On the other hand, it has been observed that, when an RST is applied to improve acceleration capacity, the effect is moderate in team sports (ES 0.66) but small in individual sports (athletics) (ES 0.23). It is necessary to consider, in this case, that only one study was included [60] that analyzed the effects of RST on national level sprinters and jumpers. Thus, more studies are needed

in this type of population, since RST is used regularly in the design of training plans in athletics, specifically in force-velocity disciplines (such as sprints, jumps, and hurdles), and understanding is needed on the effects of RST on sprint performance in both trained and highly trained athletes for proper programming during the season. The effect shown for team sports is also statistically significant. Therefore, the RST is clearly recommended for the improvement of early acceleration in sports such as soccer or rugby, particularly

Effectiveness of RST for Sprint Performance

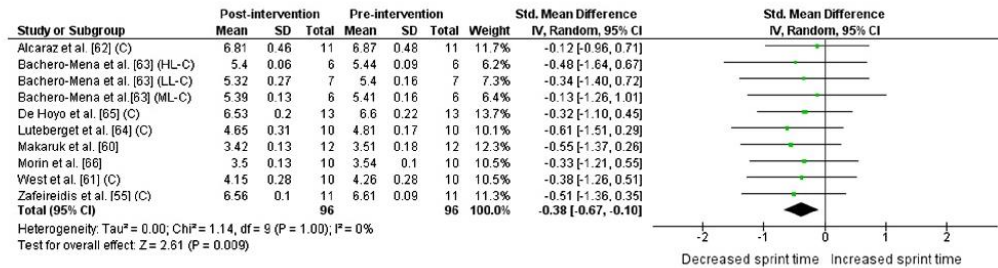


Fig. 8 SMD between post and pre-intervention for sprint time during full sprint. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across trials. C full sprint, CI confidence inter-

val, HL high load, IV independent variable, LL low load, ML moderate load, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

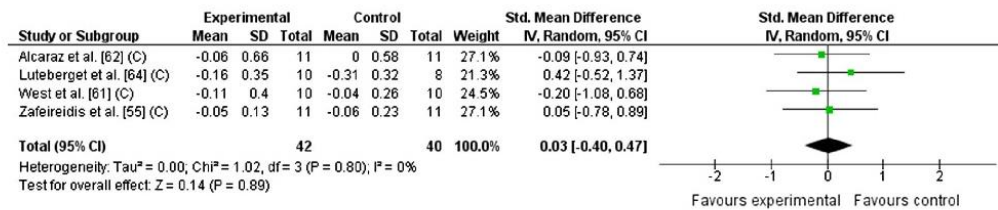


Fig. 9 SMD in post-intervention sprint time between intervention and control athletes for sprint time during full sprint. Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled SMD across

trials. C full sprint, CI confidence interval, IV independent variable, SD standard deviation, SMD standardized mean difference

since sprinting is the most frequent physical action for scoring and assisting players before goals [1], and total sprint distance and number of sprints undertaken during games have increased significantly in different European league players in the last decade [81].

Regarding the characteristics of training, weekly training frequencies > 2 days were observed to produce a significantly greater effect than frequencies ≤ 2 (ES 1.85 vs. 0.52). However, these data must be taken with caution since only one study was included [53] that had applied > 2 days (3 days-week⁻¹) of training. In addition, this study was conducted with physical education students, who had a lower level of sprint performance and, a priori, higher potential for improvement than those who are highly trained, as noted in Sect. 3.3. Therefore, training frequencies between 2–3 days-week⁻¹ can be optimal for the development of acceleration capacity when using RST. With respect to the duration of the program, four groups [57, 59, 61, 62] had a duration of 4–6 weeks, with a small and non-significant effect, whereas 11 groups [39, 55, 56, 60, 63–66] used durations of 6–10 weeks, with a significant (p < 0.001) moderate effect (ES 0.63). The explanation for this finding may be that shorter durations do not produce sufficient neuromuscular and mechanical adaptations to have a positive effect on sprint performance [82]. Consequently, when designing a

program for the development of sprint performance through RST, based on the results of the present meta-analysis, we recommend a minimum duration of > 6 weeks.

Another variable that should be considered when designing training programs with RST is volume, both for each session and for the training cycle (i.e., mesocycle). The volume per session varied widely, from 60 to 360 m. Although most (ten) groups included volumes < 160 m, volumes between 160 and 360 m (five groups) produced greater effects than lower volumes (ES 0.92 vs. 0.46, respectively). Similarly, when total training volumes were compared, higher volumes (> 2680 m) produced a moderate effect (ES 0.83) compared with volumes 720–2680 m (ES 0.53), although the effects were statistically significant for both volume per session and total training volume. Therefore, we can infer that slightly higher volumes, both per session and microcycle, have a greater effect; however, whether volume is as important as other variables that have been previously analyzed is unclear.

Finally, with respect to the early acceleration phase, it has been observed that the effect differs according to the surface used. For example, rigid surfaces or athletic tracks have a moderate effect (ES 0.69 and 0.64, respectively) and grass produces a small effect. These results can be explained by the high variability in friction related to the different types of surfaces (natural vs. artificial turf). Since the coefficient of

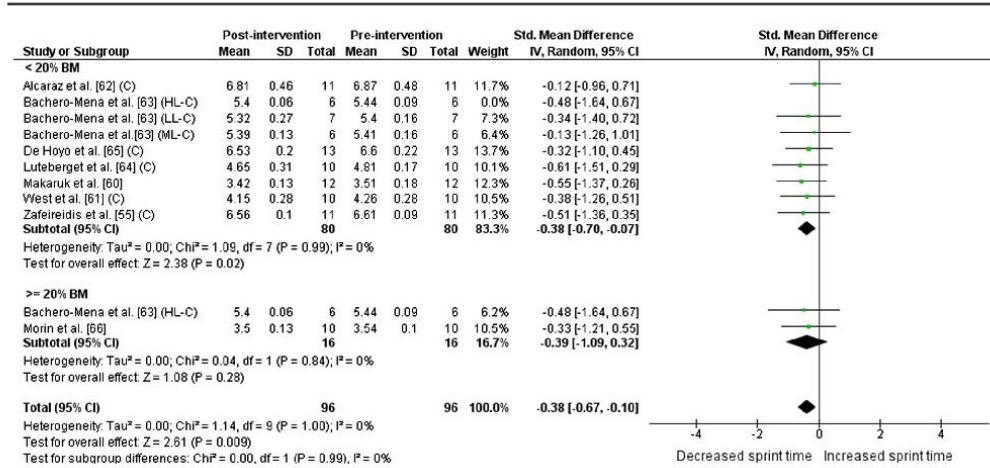


Fig. 10 SMD between post and pre-intervention for sprint time during full sprint based on different load (subgroup analysis). Squares represent the SMD for each trial. Diamonds represent the pooled

SMD across trials. *BM* body mass, *C* full sprint, *CI* confidence interval, *HL* high load, *IV* independent variable, *LL* low load, *ML* moderate load, *SD* standard deviation, *SMD* standardized mean difference

friction differs greatly between surfaces, this largely affects resistance when using RST, as suggested by Linthorne and Cooper [46]. These authors concluded that different sprint surfaces would elicit varying degrees of coefficient of friction.

4.2 Maximum-Velocity Phase and Full Sprint

Unlike the findings for the acceleration phase, RST has a small effect on performance in the maximum-velocity phase (ES 0.27) and/or when performing sprints ≥ 20 m (ES 0.36); however, in the latter case, the effect was significant. These findings can be explained by the fact that resistance coming from the friction between the surface of the sled and the contact surface (track, grass, etc.) when the sprint is performed with a sled will be different if the sled is stopped or in motion because of the inertia of the system. Therefore, when the maximum power output is calculated, the maximum power output in sprinting usually occurs in the first steps, and the horizontal force and power are decreased by 82% and 63%, respectively, from the first to the last step when using 20-m RST [40]. Therefore, if the aim is to develop maximum power production in the maximum-velocity phase, training strategies other than sled towing may be needed, since vertical forces are predominant in this phase [9, 16, 17]. Perhaps plyometric training or another type of resisted training, such as the weighted vest, could produce a greater effect in these phases.

When analyzing both the characteristics of the population and the training method for the maximum-velocity phase, the effects were small or trivial and not significant in all

cases. However, sub-analysis for the full sprint (≥ 20 m) indicated that, although the effects were still trivial or small in some cases, some were significant. For example, regarding the population characteristics, the effect was small but significant for age < 21 years (ES 0.37; $p = 0.04$), men (ES 0.34; $p = 0.04$), and team sports (ES 0.42; $p = 0.02$). With respect to the training characteristics, the effect was small in all cases and significant with loads $< 20\%$ BM (ES 0.35; $p = 0.02$), weekly training frequencies of ≤ 2 days (ES 0.35; $p = 0.02$), for duration > 6 weeks (ES 0.39; $p = 0.01$), volumes per session > 160 m (ES 0.53; $p = 0.03$), and total training values > 2680 m (ES 0.53; $p = 0.03$).

Although this meta-analysis answers many of the questions from the scientific literature, there is still a significant lack of research that focuses on highly trained athletes in individual sports such as athletics, in both males and females of different ages.

5 Conclusions

RST has been used extensively in both team and individual sports to improve sprint performance. However, to date, there has been no consensus on whether this training method actually improves sprint performance, in either the acceleration or the maximum-velocity phases. Furthermore, whether the effects differ according to population characteristics is unclear, as is the optimal training load (intensity, volume, etc.) for adaptations to be optimised. Based on the present systematic review with meta-analysis, it can be affirmed that RST is an effective method to improve sprint performance,

Effectiveness of RST for Sprint Performance

mainly via improvement of the early acceleration phase. However, it cannot be said that this method is more effective than the same training without overload. Regarding the population characteristics, the effect is greater in men, recreationally active or trained, but is small in highly trained individuals who practice team sports such as football (soccer) or rugby. Finally, with regards to the training characteristics, the intensity (load) is not a determinant of sprint performance improvement, but the recommended volume is > 160 m per session, and approximately 2680 m per total training program, with a training frequency of 2–3 times per week, for at least 6 weeks. Finally, rigid surfaces appear to enhance the effect of RST on sprint performance.

Based on these findings and given the limitations of this meta-analysis, we provide the following answers to the questions posed by coaches and the scientific community in Sect. 1:

1. Does RST improve sprint performance? Yes, but the improvements will depend on the training phase.
2. Will the effect be greater when RST is used for the different phases of sprint? Yes. For the early acceleration phase (≤ 10 m), there will be a reduction in the average sprint time of 2.3%; for the maximum-velocity phase (≥ 15 -m flying sprints at maximum intensity using a run-in distance of ≥ 10 m), the time will be reduced by 1.7%; and for the full sprint (≥ 20 m), the reduction will be 1.5%. The effect is moderate and significant only for the early acceleration phase.
3. Is RST more effective than UR sprinting? No; no difference was observed between groups with sleds and controls (same training without sled). Therefore, RST or UR will produce a similar level of adaptation.
4. What is the optimal load to use when applying RST for obtaining higher sprint adaptations? There is no optimal load for RST, since it will depend on the desired objective. However, when training with sled towing as a secondary method (i.e., replicating sprint demands in terms of movement pattern, load, and movement velocity) but with a slight overload, the load must never be $> 20\%$ BM. Conversely, when the aim is to improve maximum strength, “respecting” the movement pattern, loads $> 20\%$ BM could be suitable, as long as the athlete does not substantially modify his/her running technique. Loads $> 20\%$ BM should not be used with low-level or inexperienced athletes with sled towing.
5. Should the load be different for the different phases of sprint? Yes, keeping in mind that the main effect of RST occurs in the early acceleration phase. For the maximum-velocity phase, instead of using a different load, perhaps another sprint training method with a more vertical resistance component, like weighted vests, could be used.
6. Does RST have a different effect on athletes depending on age? This is not clear. Therefore, more studies comparing the effects of RST on different age groups are necessary to determine whether the effect will differ.
7. Will the effect be greater if the athlete is highly trained? No, in fact, for the acceleration phase, the effect is significantly greater in recreationally active and trained athletes than in highly trained athletes.
8. How many days per week should RST be applied? These methods should be applied between 2 and 3 days per week, depending on the sprint demands of the sport in which the athlete is working.
9. How many weeks should RST be applied? The effect is significantly greater when the training is > 6 weeks.
10. Can the surface affect the performance adaptations? Yes, the effect is greater for rigid surfaces than for grass, probably due to the lower friction that exists with the same load on this surface.

Compliance with Ethical Standards

Funding No sources of funding were used to assist in the preparation of this article.

Conflict of interest Pedro E. Alcaraz, Jorge Carlos-Vivas, Bruno O. Oponjuru, and Alejandro Martínez-Rodríguez have no conflicts of interest relevant to the content of this review.

References

1. Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci.* 2012;30(7):625–31.
2. Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Speed and countermovement-jump characteristics of elite female soccer players, 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perform.* 2012;7(4):340–9.
3. Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(2):148–56.
4. 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.* 2014;9(4):621–6.
5. Mann RA, Hagy J. Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am J Sports Med.* 1980;8(5):345–50.
6. Young W, Benton D, Duthie G, Pryor J. Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength Cond J.* 2001;23(2):7–13.
7. Mero A, Komi P, Gregor R. Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med.* 1992;13(6):376–92.
8. Alexander RM. Mechanics of skeleton and tendons. *Handbook of physiology—the nervous system.* Am Physiol Soc. 1981;2:17–42.
9. Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Saez-de-Villarreal E, Couturier A, Samozino P, et al. Sprint mechanics in world-class athletes: a

Effectiveness of RST for Sprint Performance

50. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother.* 2009;55(2):129–33.
51. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003;83(8):713–21.
52. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (revised ed.). New York: Academic; 1977.
53. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. *Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science.* *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3.
54. Higgins JP, Green S. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions.* New York: Wiley; 2011.
55. Zafeiridis A, Saraslanidis P, Manou V, Ioakimidis P, Dipla K, Kellis S. The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *J Sports Med Phys Fit.* 2005;45(3):284–90.
56. Spinks CD, Murphy AJ, Spinks WL, 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.* 2007;21(1):77–85.
57. Harrison AJ, Bourke G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1):275–83.
58. Clark KP, Stearne DJ, Walts CT, Miller AD. The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sleds vs weighted vests. *J Strength Cond Res.* 2010;24(12):3287–95.
59. Lockie RG, Murphy AJ, Schultz AB, Knight TJ, de Jonge XAKJ. The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res.* 2012;26(6):1539–50.
60. Makaruk B, Sozański H, Makaruk H, Sacewicz T. The effects of resisted sprint training on speed performance in women. *Hum Mov Sci.* 2013;14(2):116–22.
61. West DJ, Cunningham DJ, Bracken RM, Bevan HR, Crewther BT, Cook CJ, et al. Effects of resisted training on acceleration in professional rugby union players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(4):1014–8.
62. Alcaraz PE, Elvira JLL, Palao JM. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(2):279–90.
63. Bachero-Mena B, Gonzalez-Badillo JJ. Effects of resisted sprint training on acceleration with three different loads accounting for 5, 12.5, and 20% of body mass. *J Strength Cond Res.* 2014;28(10):2954–60.
64. Luteberget LS, Raastad T, Seynnes O, Spencer M. Effect of traditional and resisted sprint training in highly trained female team handball players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(5):642–7.
65. de Hoyo M, Gonzalo-Skok O, Sañudo B, Carrascal C, Plaza-Armas JR, Camacho-Candil F, et al. Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive performance in U-19 elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2):368–77.
66. Morin JB, Petrakos G, Jimenez-Reyes P, Brown SR, Samozino P, Cross MR. Very-heavy sled training for improving horizontal force output in soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;12(6):840–4.
67. Ross A, Leveritt M, Riek S. Neural influences on sprint running. *Sports Med.* 2001;31(6):409–25.
68. Van Hooren B, Bosch F. Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? part I: a critical review of the literature. *J Sports Sci.* 2017;35(23):2313–21.
69. Van Hooren B, Bosch F. Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? Part II: implications for exercise. *J Sports Sci.* 2017;35(23):2322–33.
70. Reeves ND, Narici MV. Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *J Appl Physiol.* 2003;95(3):1090–6.
71. Ettema G. Mechanical efficiency and efficiency of storage and release of series elastic energy in skeletal muscle during stretch-shorten cycles. *J Exp Biol.* 1996;199(9):1983–97.
72. Nagano A, Komura T, Fukushima S. Effects of the length ratio between the contractile element and the series elastic element on an explosive muscular performance. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14(2):197–203.
73. Comfort P, Bullock N, Pearson SJ. A comparison of maximal squat strength and 5-, 10-, and 20-meter sprint times, in athletes and recreationally trained men. *J Strength Cond Res.* 2012;26(4):937–40.
74. McLean B. *Biomechanics of running.* In: Hawley JA, editor. *Handbook of sports medicine and science: running.* John Wiley & Sons; 2008. p. 28–43.
75. Schmidbleicher D. Strength training; part 2: structural analysis of motor strength qualities and its application to training. *Sci Period Res Tech Sport.* 1985;4:1–10.
76. Schmidbleicher D. Strength training; part 1: structural analysis of motor strength qualities and its application to training. *Sci Period Res Tech Sport.* 1985;4:1–12.
77. Siff M, Verkhoshansky Y. *Supertraining.* Denver: Supertraining Institute; 2003.
78. Farley CT, Gonzalez O. Leg stiffness and stride frequency in human running. *J Biomech.* 1996;29(2):181–6.
79. Brughelli M, Cronin J. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18(4):417–26.
80. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, American College of Sports Medicine position stand, et al. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(2):364–80.
81. Barnes C, Archer D, Hogg B, Bush M, Bradley P. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med.* 2014;35(13):1095–100.
82. Bolger R, Lyons M, Harrison AJ, Kenny IC. Sprinting performance and resistance-based training interventions: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2015;29(4):1146–56.

Affiliations

Pedro E. Alcaraz^{1,2} · Jorge Carlos-Vivas¹ · Bruno O. Oponjuru¹ · Alejandro Martínez-Rodríguez³

¹ UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain

² Faculty of Sport Sciences, UCAM, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain

³ Department of Analytical Chemistry, Nutrition and Food Sciences, Faculty of Sciences, University of Alicante, Alicante, Spain

ANEXO 2. ARTÍCULO N° 2: UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA CONTROLAR Y MONITORIZAR LA CARGA DE ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON CHALECO LASTRADO DE ESPRINT Y SALTO EN FÚTBOL.

Carlos-Vivas J, Freitas TT, Cuesta M, Pérez-Gómez J, De Hoyo M, & Alcaraz PE (2018). New tool to control and monitor weighted vest training load for sprinting and jumping in soccer. *J Strength Cond Res*, Apr (ahead of print).

NEW TOOL TO CONTROL AND MONITOR WEIGHTED VEST TRAINING LOAD FOR SPRINTING AND JUMPING IN SOCCER

JORGE CARLOS-VIVAS,¹ TOMÁS T. FREITAS,¹ MIGUEL CUESTA,¹ JORGE PEREZ-GOMEZ,² MOISÉS DE HOYO,³ AND PEDRO E. ALCARAZ^{1,5}

¹UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain; ²Health, Economy, Motricity and Education Research Group, Faculty of Sport Sciences, University of Extremadura, Cáceres, Spain; ³Department of Physical Education and Sport, University of Sevilla, Sevilla, Spain; and ⁴Department of Physical Activity and Sport Science, Faculty of Sport Sciences, UCAM, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain

ABSTRACT

Carlos-Vivas, J, Freitas, TT, Cuesta, M, Perez-Gomez, J, De Hoyo, M, and Alcaraz, PE. New tool to control and monitor weighted vest training load for sprinting and jumping in soccer. *J Strength Cond Res* XX(X): 000–000, 2018—The purpose of this study was to develop 2 regression equations that accurately describe the relationship between weighted vest loads and performance indicators in sprinting (i.e., maximum velocity, Vmax) and jumping (i.e., maximum height, Hmax). Also, this study aimed to investigate the effects of increasing the load on spatio-temporal variables and power development in soccer players and to determine the “optimal load” for sprinting and jumping. Twenty-five semiprofessional soccer players performed the sprint test, whereas a total of 46 completed the vertical jump test. Two different regression equations were developed for calculating the load for each exercise. The following equations were obtained: % body mass (BM) = $-2.0762 \cdot \%V_{max} + 207.99$ for the sprint and % BM = $-0.7156 \cdot \%H_{max} + 71.588$ for the vertical jump. For both sprinting and jumping, when the load increased, Vmax and Hmax decreased. The “optimal load” for resisted training using weighted vest was unclear for sprinting and close to BM for vertical jump. This study presents a new tool to individualize the training load for resisted sprinting and jumping using weighted vest in soccer players and to develop the whole force-velocity spectrum according to the objectives of the different periods of the season.

KEY WORDS speed, strength, power output, performance, football, training prescription

Address correspondence to Jorge Carlos-Vivas, jcarlos@ucam.edu.
00(00)/1–9

Journal of Strength and Conditioning Research
© 2018 National Strength and Conditioning Association

INTRODUCTION

Sprinting and jumping are high-intensity actions crucial in soccer, e.g., when scoring a goal or to be better positioned to win the ball (17). The success in such actions has been related to the athlete's capacity for maximizing power output (45), which is determined by the force-velocity (F-V) relationship. This relationship dictates that the amount of force generated decreases as the velocity of movement increases (23) and that maximal power output (Pmax) is achieved at compromised levels of force and velocity (25). Thus, Pmax may be improved by increasing the ability to develop high levels of force at low velocities or by enhancing movement velocity (11,31). Theoretically, the use of low-load maximum-velocity movements can affect the high-velocity area of the F-V curve, whereas heavier loads enhance the high-force segment. In this regard, mixed methods have been shown to result in a higher increase in Pmax because of a more well-rounded development of the F-V relationship (11).

A widely used and very fashionable approach to develop power output today is the “optimal load” training, which consists of using the load that elicits Pmax in a specific movement (10,25). In fact, it has been suggested that training with the OL is effective for improving power output (11,31) because it provides an adequate load-specific stimulus to elicit increases in Pmax (31). Several investigations have shown greater improvements in Pmax when the OL was used rather than other load conditions over short-term interventions lasting 8–12 weeks (11,31). However, the load that maximizes power in multi-joint, sports-specific movements differs significantly across different exercises because of the nature of the movement involved (20).

There are different training methods to improve performance on abilities such as sprint or vertical jump (2,16,19,38). These methods can increase athletes' strength and power levels in its vertical and horizontal components (11), depending on the sport needs. Most research has

Control and Monitor Weighted Vest Training

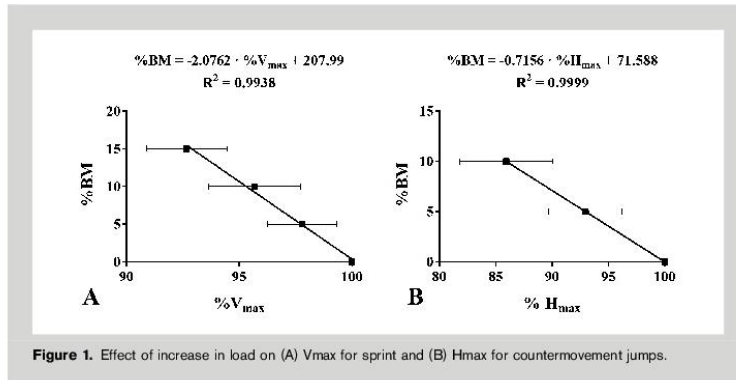


Figure 1. Effect of increase in load on (A) Vmax for sprint and (B) Hmax for countermovement jumps.

focused on identifying which are the most appropriate training methods that could translate the strength and power training gains to an increased performance of sports-specific movements (11,27).

Regarding sprinting, resisted sprint training is one of the most used methods because it provides a mechanical overload specific to sports movements and allows the athlete to reproduce the technical gestures with an additional external load (13). There are different resisted sprint training modalities that require different equipments used to add external resistance: sled towing, weighted vest, parachutes, running uphill, or running on sand surface (1). The direction of the resultant ground reaction force (GRF) vector, in response to the force applied by the athlete, will have a different direction according to the sport and the conditions in which it happens; therefore, depending on the task, the work should focus more on vertical or horizontal forces. Thus, recent studies have analyzed sprint mechanics in elite athletes (33,37) and have shown typical manifestations of instantaneous vertical, anteroposterior, and lateral component of GRFs. Data showed that the GRF vertical component is greater than the horizontal during full sprint, except in the first steps when the sprint starts from a 4-point stance static position (33,37). Furthermore, vertical GRF increases while the horizontal component decreases as velocity increases (33,37). Based on these findings and knowing that, in soccer, most sprints begin in motion (42) with the body in a more straight position (2-point stance), training with a vertical component resistance could be effective in improving performance in soccer. Furthermore, weighted vest resisted training (WVT) is a method in which resistance has a greater vertical component on the athlete's center of mass (36), thus providing a more specific stimulus for soccer players. However, there is no scientific evidence on this matter, and the few studies that have included weighted vest as a resistance device have assessed only the effects on kinematics, using loads from 7 to 20% of the body mass (BM) (4,6,9,12,14,39).

With respect to vertical jump, among nonconventional power training methods, WVT has demonstrated excellent results, showing improvements of $\geq 10\%$ with 3–10-week interventions in trained athletes (5–7). In addition, WVT use significantly increases the vertical jump performance using loads from 7 to 13% BM when compared with conventional power training (5–7). In the vertical jump, the athlete must overcome his/her BM, and the resultant force is completely vertical, acting on his/her center of mass, where the

resultant GRF is equal to the product between the player's mass and the acceleration of gravity (26).

Therefore, WVT may be a good training method for soccer because it allows multidirectional training that is essential to this sport (21). Likewise, WVT allows athletes to reproduce the real actions found in competition while adding an external load closer to their center of mass. Despite the importance given to other resisted training methods (i.e., sled towing) in the past, less is known regarding the F-V relationship with weighted vest. Moreover, it would be interesting to know the power output generated when the load increases to properly prescribe the OL training. Thus, the first objective of this study was to develop 2 regression equations that accurately describe the relationship between weight vest loads and performance indicators in sprinting (i.e., maximum velocity, Vmax) and jumping (i.e., Hmax). In addition, this study aimed to describe how the increase of the load affects spatio-temporal variables and power development in soccer players and to determine the OL in sprinting and jumping.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

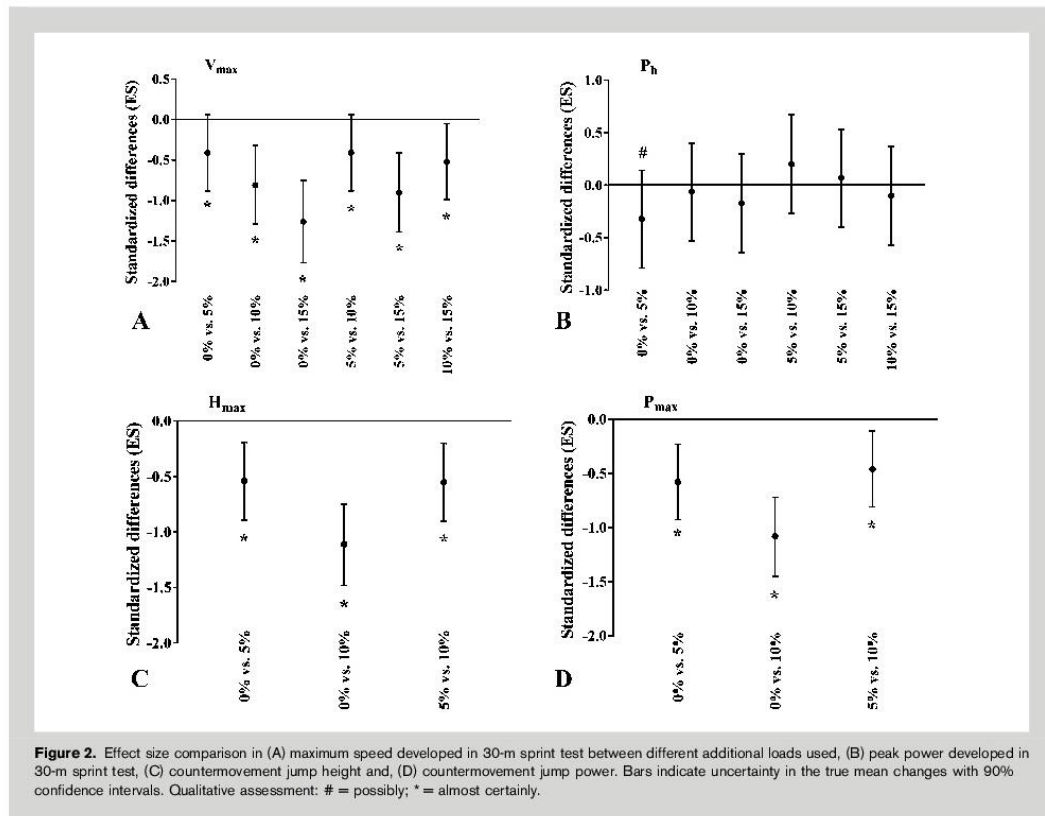
A cross-sectional study design was used. Testing was conducted in the midseason after 2 days of rest to avoid possible interferences caused by fatigue. All measures were taken in a single testing session. Participants performed eight 30-m sprints and 6 countermovement jumps (CMJs) while wearing a weighted vest (Kettler, Germany) with different loads to determine changes in spatio-temporal variables. Sprints were performed unloaded and using a weighted vest with an additional load corresponding to each participant's 5, 10, and 15% BM (2 trials per load). The same loads were used for CMJs up to 10% BM. These loads were selected based on the few studies that included weighted vest as a resistance device for both sprinting (4,6,9,12,14,39) and jumping (5–7).

TABLE 1. Relative differences and qualitative outcomes between different loads used according to percentages of BM.[†]

	Mean ± SD	Comparative assessment (% BM)	Changes (%) (90% CI)	Chances (%)	Qualitative assessment
Vmax	0%: 8.41 ± 0.47	0 vs. 5%	-2.2 (-2.8 to -1.7)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	5%: 8.22 ± 0.44	0 vs. 10%	-4.3 (-5.0 to -3.6)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	10%: 8.04 ± 0.43	0 vs. 15%	-7.3 (-8.0 to -6.7)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	15%: 7.80 ± 0.48	5 vs. 10%	-2.2 (-2.6 to -1.7)	0/0/100%	Almost certainly poorer
P _h	0%: 13.65 ± 1.95	5 vs. 15%	-5.2 (-5.8 to -4.6)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	5%: 13.04 ± 1.75	10 vs. 15%	-3.1 (-3.6 to -2.6)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	10%: 13.50 ± 2.68	0 vs. 5%	-4.3 (-9.9 to 1.6)	2/32/66%	Possibly poorer
	15%: 13.21 ± 3.01	0 vs. 10%	-2.0 (-7.8 to 4.1)	8/52/40%	Unclear
Hmax	0%: 34.10 ± 4.30	0 vs. 15%	-4.6 (-11.9 to 3.3)	6/30/64%	Unclear
	5%: 31.70 ± 4.47	5 vs. 10%	2.4 (-5.0 to 10.4)	47/40/13%	Unclear
	10%: 29.27 ± 4.30	5 vs. 15%	-0.3 (-7.6 to 7.6)	25/45/30%	Unclear
	15%: 28.61 ± 5.26	10 vs. 15%	-2.6 (-10.0 to 5.4)	8/55/37%	Unclear
Pmax	0%: 54.25 ± 5.05	0 vs. 5%	-7.2 (-8.0 to -6.4)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	5%: 51.12 ± 5.59	0 vs. 10%	-14.3 (-15.3 to -13.3)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	10%: 48.61 ± 5.26	5 vs. 10%	-7.6 (-8.6 to -6.7)	0/0/100%	Almost certainly poorer
	15%: 47.80 ± 5.26	0 vs. 5%	-5.9 (-6.8 to -5.0)	0/0/100%	Almost certainly poorer
		5 vs. 10%	-10.5 (-11.4 to -9.6)	0/0/100%	Almost certainly poorer
		5 vs. 10%	-4.9 (-5.7 to -4.0)	0/0/100%	Almost certainly poorer

[†]CL = confidence limits; % Difference = percentage difference; Chances = percentage chance of having better/similar/poorer values; Vmax = maximum sprint velocity; 0% = without extra load; 5%: extra load of 5% BM; 10%: extra load of 10% BM; 15%: extra load of 15% BM; P_h = maximum horizontal sprint power output; Hmax = maximum CMJ height; Pmax = CMJ peak power.
^{††}Data are mean ± SD.

Control and Monitor Weighted Vest Training

**Subjects**

Healthy, semiprofessional soccer players (ages 18-25 years), competing in the Spanish National Divisions, were recruited for this study. All players had experience with WVT. Twenty-five participants performed the sprint test (mean \pm SD; height: 1.79 ± 0.05 m, and BM: 72.2 ± 6.7 kg), whereas a total of 46 completed the jump test (1.78 ± 0.06 m, 72.3 ± 7.2 kg). Normal team practice and competition schedule, consisting of at least 4 training sessions and 1 match per week, were maintained during the investigation period. Only players who had no recent injuries or no medical condition that might have prevented maximal exertion were included in the study. The Ethics Committee of the Catholic University San Antonio of Murcia, in accordance with the Declaration of Helsinki (2008), approved the study. Participants were informed of the protocol and procedures before their involvement, and their written consent was obtained before their participation.

Procedures

Sprints were completed on an outdoor artificial turf 3 G soccer field, and CMJs were performed on a rigid surface in

the same sports center. Participants used their own athletic wear for the tests: sports shoes for jumping and football boots for sprinting. Before starting the tests, height and BM were measured to determine the relative loads needed for the weighted vest (5, 10, and 15% BM). All participants performed a standardized specific warm-up, consisting of 8-minute low-intensity running, 5 minutes of active dynamic stretching, 3-4 submaximal CMJs, and 3-4 submaximal sprints over 30 m, increasing progressively the intensity until V_{max} and with 90-second rest between trials. Afterward, all players performed the CMJ test first and, after 10 minutes of rest, they completed the sprint test. Two trials were performed for each load, and the order of the trials was randomized for each participant.

Sprint Test. Players performed a total of eight all-out sprints over 30 m (2 trials for each load condition). A 5-minute rest period was given between trials to minimize fatigue effects on performance. Participants were encouraged to perform each trial as fast as possible. A radar device (Stalker ATS II; Applied Concepts, Richardson, TX, USA), placed on a tripod

TABLE 2. Load (kg) required for WVT of sprint, depending on individual BM.*

BM (kg)	% Vmax			
	90% kg	92.5% kg	95% kg	97.5% kg
100	21.1	15.9	10.8	5.6
95	20.1	15.1	10.2	5.3
90	19.0	14.3	9.7	5.0
85	18.0	13.6	9.1	4.7
80	16.9	12.8	8.6	4.4
75	15.8	12.0	8.1	4.2
70	14.8	11.2	7.5	3.9
65	13.7	10.4	7.0	3.6
60	12.7	9.6	6.5	3.3
55	11.6	8.8	5.9	3.1
50	10.6	8.0	5.4	2.8
%BM	~21.1%	~15.9%	~10.8%	~5.6%

*WVT = weighted vest resisted training; BM = body mass; Vmax = maximum sprint velocity; %BM = percentage of body mass.

TABLE 3. Load (kg) required for WVT of vertical jump, depending on individual BM.*

BM (kg)	% Hmax			
	90% kg	92.5% kg	95% kg	97.5% kg
100	7.2	5.4	3.6	1.8
95	6.8	5.1	3.4	1.7
90	6.5	4.9	3.2	1.6
85	6.1	4.6	3.1	1.5
80	5.7	4.3	2.9	1.5
75	5.4	4.0	2.7	1.4
70	5.0	3.8	2.5	1.3
65	4.7	3.5	2.3	1.2
60	4.3	3.2	2.2	1.1
55	4.0	3.0	2.0	1.0
50	3.6	2.7	1.8	0.9
%BM	~7.2%	~5.4%	~3.6%	~1.8%

*WVT = weighted vest resisted training; BM = body mass; Hmax = maximum CMJ height; %BM = percentage of body mass.

5 m behind the starting line and at a height of 1 m corresponding approximately to the height of subjects' center of mass, was used to measure sprint instantaneous velocity using a sampling frequency of 47 Hz. In addition, sprint time was measured with wireless photocells from Microgate's WITTY System (Microgate, Bolzano, Italy) that were placed on the starting and finish line. Only those sprints in which the velocity curve achieved a plateau zone were considered, indicating that Vmax was reached. The best sprint time for each load condition was selected for analysis, and the Vmax was used to obtain the sprint equation.

Sprint mechanical horizontal power output was computed using a valid and reliable computation method based on a macroscopic inverse dynamics analysis of the center of mass motion (40). Raw velocity-time data were fitted with an exponential function to obtain the instantaneous theoretical velocity, which was then derived to calculate the net horizontal antero-posterior GRF and the horizontal mechanical power output (P_h) using the equations proposed by Samozino et al. (40). The load added was taken into account to determine these variables. P_h is presented relative to total system mass (i.e., BM plus the added external weighted vest load). This model presents a coefficient of variation (CV) of 2.93 and 1.87% for maximum horizontal force and P_h , respectively (40).

Countermovement Jump Test. Countermovement jumps were assessed using a portable force platform (Kistler 9286BA; Kistler Group, Winterthur, Switzerland), with a sampling rate of 1,000 Hz. A total of 6 maximum trials (2 trials for each load condition) were performed, with 90-second rest

between them. Players stood over the center of the force platform with their feet placed shoulder width apart, their hands were kept on the hips throughout the execution of the jump, and the depth of the countermovement (i.e., knee flexion angle) was self-selected. They were instructed to jump as high as possible with a rapid countermovement and to land close to the point of take-off (18). The Hmax and the maximum CMJ power (Pmax) were calculated using the take-off velocity through a customized macro for RStudio software (R-Tools Technology, Inc., Boston, MA, USA). The highest jump for each load was taken as the best trial and used to calculate the jump equation. The CMJ test is characterized by a low variability between trials (CV = 3.0%) (29) and high test-retest reliability (intraclass correlation coefficient = 0.98) (8).

Statistical Analyses

Statistical analyses were performed using SPSS 21.0 for Windows. Descriptive statistics summarized all demographic characteristics and outcomes. Data are presented as mean ± SD. All data were log-transformed for analysis to reduce bias arising from nonuniformity error and then analyzed for practical significance using magnitude-based inferences (24). The effect size (ES, 90% confidence limit) in the selected variables was calculated using the SD. Threshold values for Cohen's ES statistics were as follows: >0.2 small, >0.6 moderate, and >1.2 large (24). The chance that any difference was better/greater (i.e., greater than the smallest worthwhile change, SWC [0.2 multiplied by the between-subject SD, based on Cohen's d principle, ES]) or similar or worse/smaller than the other group, was subsequently calculated

Control and Monitor Weighted Vest Training

(24). Quantitative chances of beneficial/better or detrimental/poorer effect were assessed qualitatively as follows: <1%, almost certainly not; >1–5%, very unlikely; >5–25%, unlikely; >25–75%, possible; >75–95%, likely; >95–99%, very likely; and >99%, almost certain. If the chance of having beneficial/better or detrimental/poorer was <5%, the true difference was considered unclear (43). If the chance was >75%, data were considered substantially different.

RESULTS

All velocities and jump heights were converted to percentage of Vmax over 30 m and percentage of Hmax, respectively. These data were plotted against each other to produce a regression equation for sprinting (equation 1, Figure 1A) and for jumping (equation 2, Figure 1B). The R^2 value was 0.99 for both sprint and CMJ equations. The regression equations obtained are listed below:

$$\%BM = -2.0762 \cdot \%V_{max} + 207.99 \quad (1)$$

$$\%BM = -0.7156 \cdot \%H_{max} + 71.588 \quad (2)$$

Relative differences and qualitative outcomes resulting from the within-loads analyses are shown in Table 1, and the comparison of ESs between different tests and external load conditions for all variables measured are illustrated in Figure 2. As expected, there was a reduction in Vmax during the 30-m sprint tests as the load increased. Sprinting data showed an almost certainly poorer Vmax with 15% BM compared with 0% (ES = 1.26), with 10% compared with 0% BM (ES = 0.81), and when 15% was compared with 5% BM (ES = 0.90). An almost certainly poorer Vmax was also obtained with 5% BM with respect to 0% BM (ES = 0.41), with 10% BM compared with 5% BM (ES = 0.41) and when comparing 15–10% BM (ES = 0.52) (Figure 2A). The P_h data showed a possibly poorer performance with 5% BM compared with 0% BM (ES = 0.32), whereas the qualitative outcome was unclear when the other loads were compared (Figure 2B). These results do not clarify which is the OL for sprinting, although 0% BM is the load that produces the highest P_h .

Regarding the jump test, the unloaded condition (0% BM) showed a higher Hmax than with additional loads of 5% (ES = 0.54) and 10% BM (ES = 1.11). Moreover, an additional load of 5% BM showed a greater Hmax than 10% BM (ES = 0.55) (Figure 2C). The Pmax data exhibited an almost certainly poorer output with 10% BM compared with 0% BM (ES = 1.08), with 5% in comparison with 0% BM (ES = 0.58), and when 10% BM was compared with 5% BM (ES = 0.46) (Figure 2D). These results seem to indicate that the OL is closer to the own BM for jumping.

DISCUSSION

Weighted vest resisted training is a very popular resisted training modality designed to develop strength and power

of the lower limbs in many sports where sprinting and jumping are key factors such as soccer. However, the number of studies on this topic is limited because most of the knowledge in this area has been obtained from the practical experience of coaches and strength and conditioning professionals. To our knowledge, this is the first study to develop 2 regression equations that accurately describe the relationship between weighted vest loads and the Vmax in a 30-m sprint and Hmax of a CMJ in semiprofessional soccer players. Moreover, this research shows the load-velocity relationship for resisted sprint training and load-height relationship for resisted jump training using weighted vest. In addition, power output and the effects of the different loads on Vmax and Hmax for sprinting and jumping, respectively, were examined. Finally, the OL for maximizing power production in soccer players under the conditions described in this study was also obtained.

The regression equations showed a significant inverse linear relationship between load and sprint velocity and between load and jump height ($p < 0.00001$; Figure 1A, B), respectively. These equations may help strength and conditioning coaches establish the load for WVT, according to the individual characteristics of each athlete. Furthermore, these tools allow determination of the different loads to develop each section of the F-V curve, individually and depending on the aims pursued or the period of the season. In soccer, players have to produce power under both unloaded (activities such as sprinting or jumping, where the athlete mainly overcomes the inertia of their BM) and loaded conditions (activities such as collisions in contact sports or changes of direction where the player must apply even greater forces to change the momentum of the body) (41). Developing the power output across the entire F-V profile may be more beneficial because of the different demands placed on an athlete during competition (41). Thus, both equations can be used to control and prescribe the workload and to quantify the load for WVT based on the athlete's BM.

Regarding sprinting, there are not many studies analyzing the effects of WVT, and the ones that do exist evaluated only the effects on kinematics (4,9,12,14). Therefore, to our knowledge, this is the first study that investigated the load-velocity relationship for WVT for sprinting. Nevertheless, 2 previous studies determined this relationship for resisted sprint training with sled towing (3,28). Lockie et al. (28) presented an equation to calculate the additional load during the acceleration phase in field-sport athletes and Alcaraz et al. (3) during the maximum velocity phase in sprinters. However, these equations cannot be compared with the one obtained in this study because the resisted training modality used was different, hence, the mechanical characteristics and conditions too (e.g., inertia, the direction of the load's vector, friction, and the proximity of the resistance device with the athlete's center of mass).

The equations presented in these previous studies (3,28) showed the same load-velocity relationship found here; i.e., when the load increased, the V_{max} decreased. With respect to the OL, our results do not clarify which load could be more effective in maximizing P_h and further research is required. A study by Monte et al. (32), with sprinters, reported that 20% BM was the OL, whereas other studies (3,28) indicated loads around 9 and 13% of BM. However, caution should be taken when comparing the results because in the studies by Lockie et al. (28) and Alcaraz et al. (3), the concept of OL was different because the OL was considered the load that caused a detriment of no more than 10% of V_{max} in unloaded conditions. By contrast, a recent study by Cross et al. (15) suggested that heavier loads, between 69 and 96% BM, are more suitable for maximizing power output with sled towing, depending on the friction condition.

Resisted sled training (RST) and its influence on sprinting ability has been, and remains, one of the most studied resisted sprint training topics (2,9,15,16,32). Nevertheless, according to soccer-specific sprint characteristics and key actions, RST has some limitations that could be solved with the use of different devices such as weighted vests. For example, RST does not permit changes of direction nor provides an instantaneous stimulus over decelerating actions. Hence, WVT could be an alternative method in soccer for 2 reasons. First, because this method enables loading change of direction and deceleration drills. Second, because WVT resistance has a greater vertical component (36), it would provide a more specific stimulus for soccer players, as most sprints are fly-sprints (42) and it is well documented that vertical GRF rises while horizontal GRF decreases as velocity increases (33,37). Therefore, the combination of different resisted training modalities might be the ideal solution in soccer.

Concerning vertical jump, the results indicate that when the load increases, the H_{max} and P_{max} decrease. Therefore, the OL is close to the player's own BM for WVT. Our results are in accordance with previous studies that showed the OL closer to the individual's BM using both assisted and resisted loads (30,34,35,44) and supports the idea that the muscular system of the lower body could be designed to elicit the maximum power output in rapid movements in such conditions (30).

Although our results determined that the OL in both exercises was close to 0% BM, we must consider that the OL may change during the season. Thus, it is important to develop all zones of the F-V spectrum, focusing on each section of the curve, depending on the time of the year (25). Traditionally, in soccer, strength and conditioning coaches prescribe heavier loads during the off-season/preseason period to enhance the high-force section of the F-V curve and to maximize overall muscular strength. In the later part of the preseason and during the competitive phase, low-load high-velocity movements are usually

used to improve the high-velocity area (11,22). This highlights the importance of developing the whole curve from the high-force section through the high-velocity segment (22).

The direction of the added resistance's force vector during training is another key aspect that strength and conditioning coaches should consider when applying resisted training methods with their athletes. Particularly in soccer, where horizontal and vertical forces are important, the ideal program should combine exercises that add resistance oriented both horizontally and vertically, depending on the aims pursued in each moment of the season. For instance, the vertical jump should be trained with vertical loads, whereas sprint training should combine horizontal and vertical loading. It is well established that, in sprinting, horizontal forces are higher in the first steps and vertical forces in the remaining meters (33,37) because athletes need to always overcome the force of gravity.

The main limitation in the present study is that testing was conducted only once for each load and we cannot exclude that this had an influence on the results. Future studies are needed to clarify what is the OL in sprinting and determine its resultant power output when WVT is used. Furthermore, it would be of great interest to investigate the effect of WVT on soccer-specific movement mechanics (i.e., changes of direction, jumps, sprints, etc.). Moreover, there is a need to determine whether a WVT intervention is more suitable than other methods to improve speed, jump, and change of direction performance in soccer players. Unpublished pilot data from our research center suggested that P_h was achieved at shorter distances, in the acceleration phase, when using weighted vest in comparison with other equipment, such as sled towing or parachute.

PRACTICAL APPLICATIONS

This study presents new tools for strength and conditioning professionals to control and prescribe the WVT load based on V_{max} and H_{max} . The 2 equations are highly practical and allow strength and conditioning professionals to calculate the loads for WVT in sprinting and jumping exercises easily in soccer players.

Tables 2 and 3 show the reference values for WVT using the % BM for sprint and vertical jump, respectively. These can serve as a starting point when strength and conditioning coaches want to prescribe the training as a function of the velocity or height loss, as well as for choosing the appropriate weighted vest load for each player (i.e., semiprofessional soccer players). For example, if a 70-kg player wants to work at 90% of their V_{max} and H_{max} , loads of 14.8 and 5.0 kg should be used, respectively.

Finally, according to the results obtained in this study, the OL is not clear for sprinting and is closer to BM for jumping. Nevertheless, we must take into account that the OL may be different at varying points in the season and it would be dependent on the athlete's force level.

Control and Monitor Weighted Vest Training

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Alberto Castillo, PhD, and Francisco Javier Toscano, PhD (UCAM, Murcia), for their help in recruiting athletes for the study. The authors also thank Elena Marín-Cascales, PhD, for their assistance with data collection.

REFERENCES

- Alcaraz, PE. Sprint training with resisted sprint training methods. *CCD* 5: 19–26, 2010.
- 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.
- 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.
- 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.
- Bosco, C. Adaptive response of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. *Acta Physiol Scand* 124: 507–513, 1985.
- Bosco, C, Rusko, H, and Hirvonen, J. The effect of extra-load conditioning on muscle performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 18: 415–419, 1986.
- Bosco, C, Zanon, S, Rusko, H, Dal Monte, A, Bellotti, P, Latteri, F, Candeloro, N, Locatelli, E, Azzaro, E, and Pozzo, R. The influence of extra load on the mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 53: 149–154, 1984.
- Carlock, JM, Smith, SL, Hartman, MJ, Morris, RT, Ciroslan, DA, Pierce, KC, Newton, RU, Harman, EA, Sands, WA, and Stone, MH. The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: A field-test approach. *J Strength Cond Res* 18: 534–539, 2004.
- 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.
- 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.
- Cormie, P, McGuigan, MR, and Newton, RU. Developing maximal neuromuscular power part 2-training considerations for improving maximal power production. *Sports Med* 41: 125–146, 2011.
- Cronin, JB, Hansen, K, Kawamori, N, and McNair, P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech* 7: 160–172, 2008.
- Cronin, JB and Hansen, KT. Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *Strength Cond J* 28: 42–51, 2006.
- Cross, MR, Brughelli, M, and Cronin, JB. Effects of vest loading on sprint kinetics and kinematics. *J Strength Cond Res* 28: 1867–1874, 2014.
- Cross, MR, Brughelli, M, Samozino, P, Brown, SR, and Morin, JB. Optimal loading for maximising power during sled-resisted sprinting. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 1069–1077, 2017.
- de Hoyo, M, Gonzalo-Skok, O, Sañudo, B, Carrascal, C, Plaza-Armas, JR, Camacho-Candil, F, and Otero-Esquina, C. Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive performance in U-19 elite soccer players. *J Strength Cond Res* 30: 368–377, 2016.
- Faude, O, Koch, T, and Meyer, T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sport Sci* 30: 625–631, 2012.
- Freitas, TT, Calleja-Gonzalez, J, Alarcon, F, and Alcaraz, PE. Acute effects of two different resistance circuit training protocols on performance and perceived exertion in semiprofessional basketball players. *J Strength Cond Res* 30: 407–414, 2016.
- 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.
- Giroux, C, Rabita, G, Chollet, D, and Guilhem, G. What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *Int J Sports Med* 36: 143–149, 2015.
- Gregson, W, Drust, B, Atkinson, G, and Salvo, VD. Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *Int J Sports Med* 31: 237–242, 2010.
- Haff, GG and Nimphius, S. Training principles for power. *Strength Cond J* 34: 2–12, 2012.
- Hill, A. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 126: 136–195, 1938.
- Hopkins, W, Marshall, S, Batterham, A, and Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3, 2009.
- Kawamori, N and Haff, GG. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res* 18: 675–684, 2004.
- Linthorne, NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys* 69: 1198–1204, 2001.
- Lockie, RG, Murphy, AJ, Schultz, AB, Knight, TJ, and Janse de Jonge, XA. 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.
- 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.
- Markovic, G, Dizdar, D, Jukic, I, and Cardinale, M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res* 18: 551–555, 2004.
- Markovic, G and Jaric, S. Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1757–1764, 2007.
- 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.
- Monte, A, Nardello, F, and Zamparo, P. Sled towing: The optimal overload for peak power production. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 1052–1058, 2017.
- 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 Sport Sci* 36: 1392–1401, 2018.
- Nuzzo, JL, McBride, JM, Dayne, AM, Israetel, MA, Dumke, CL, and Triplett, NT. Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects. *J Strength Cond Res* 24: 1269–1276, 2010.
- Pazin, N, Berjan, B, Nedeljkovic, A, Markovic, G, and Jaric, S. Power output in vertical jumps: Does optimum loading depend on activity profiles? *Eur J Appl Physiol* 113: 577–589, 2013.
- Puthoff, ML, Darter, BJ, Nielsen, DH, and Yack, HJ. The effect of weighted vest walking on metabolic responses and ground reaction forces. *Med Sci Sports Exerc* 38: 746–752, 2006.
- Rabita, G, Dorel, S, Slawinski, J, Saez-de-Villarreal, E, Couturier, A, Samozino, P, and Morin, JB. Sprint mechanics in world-class athletes: A new insight into the limits of human locomotion. *Scand J Med Sci Sports* 25: 583–594, 2015.
- Requena, B, García, I, Requena, F, de Villarreal, ESS, and Cronin, JB. Relationship between traditional and ballistic squat exercise with vertical jumping and maximal sprinting. *J Strength Cond Res* 25: 2193–2204, 2011.

39. Rey, E, Padron-Cabo, A, and Fernandez-Penedo, D. Effects of sprint training with and without weighted vest on speed and repeated sprint ability in male soccer players. *J Strength Cond Res* 31: 2659–2666, 2016.
40. Samozino, P, Rabita, G, Dorel, S, Slawinski, J, Peyrot, N, Saez de Villarreal, E, and Morin, JB. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports* 26: 648–658, 2016.
41. Sheppard, JM and Young, WB. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sport Sci* 24: 919–932, 2006.
42. Stolen, T, Chamari, K, Castagna, C, and Wisloff, U. Physiology of soccer—An update. *Sports Med* 35: 501–536, 2005.
43. Suarez-Arrones, L, Arenas, C, López, G, Requena, B, Terrill, O, and Mendez-Villanueva, A. Positional differences in match running performance and physical collisions in men rugby sevens. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 316–323, 2014.
44. 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.
45. 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.

ANEXO 3. ARTÍCULO N° 3: PERFIL FUERZA-VELOCIDAD-POTENCIA DURANTE EL ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON CHALECO LASTRADO EN FÚTBOL

Carlos-Vivas J, Marín-Cascales E, Freitas TT, Pérez-Gómez J, & Alcaraz PE (2018). Force-velocity-power profiling during weighted vest sprinting in soccer. *Int J Sport Physiol*, Nov (ahead of print).

Force–Velocity–Power Profiling During Weighted Vest Sprinting in Soccer

Jorge Carlos-Vivas, Elena Marín-Cascales, Tomás T. Freitas, Jorge Perez-Gomez, and Pedro E. Alcaraz

Purpose: To describe the load–velocity relationship and the effects of increasing loads on spatiotemporal and derived kinetics variables of sprinting using weighted vest (WV) in soccer players and determining the load that maximized power output. **Methods:** A total of 23 soccer players (age: 20.8 [1.5] y) performed 10 maximal 30-m sprints wearing a WV, with 5 different loads (0%, 10%, 20%, 30%, and 40% body mass [BM]). Sprint velocity and time were collected using a radar device and wireless photocells. Mechanical outputs were computed using a recently developed valid and reliable field method that estimates the step-averaged ground reaction forces during overground sprint acceleration from anthropometric and spatiotemporal data. Raw velocity–time data were fitted by an exponential function and used to calculate the net horizontal ground reaction forces and horizontal power output. Individual linear force–velocity relationships were then extrapolated to calculate the theoretical maximum horizontal force (F_0) and velocity and the ratio of force application (proportion of the total force production that is directed forward at sprint start). **Results:** Magnitude-based inferences showed an almost certain decrease on F_0 (effect size = 0.78–3.35), maximum power output (effect size = 0.78–3.81), and maximum ratio of force (effect size = 0.82–3.87) as the load increased. The greatest changes occurred with loads heavier than 20% BM, especially in ratio of force. In addition, the maximum power was achieved under unloaded condition. **Conclusions:** Increasing load on WV sprinting affects the spatiotemporal and kinetic variables. The greatest change in ratio of force happened with loads heavier than 20% BM. Thus, the authors recommend the use of loads $\leq 20\%$ BM for WV sprinting.

Keywords: belt, football, performance, speed, strength

Soccer is a team sport in which performance depends on both individual skills and the collective interaction between players. Tactical and technical abilities are considered the main factors that influence a match's final score. However, the development of physical capabilities should not be overlooked to develop high-level players, even more so, considering that recent evidence has shown that professional players are becoming faster.^{1,2} Some studies have reported that both acceleration and maximum velocity (V_{max}) discriminate players of different level.³ In addition, a recent study by Faude et al⁴ observed that straight sprinting was the most frequent action in goal situations for the player who scored and also for the one who assisted. A small difference of 0.04 to 0.06 seconds over a 20-m sprint may be enough to win a 1-on-1 dispute, dribbling an opponent out of position or defending an attack with success.⁵ Therefore, it may be argued that sprinting ability is crucial in competitive soccer⁴ and, consequently, a better understanding of the effects of different sprint training protocols is of great interest.

Based on current scientific knowledge, it is evident that maximal relative strength, rate of force development, and peak power-generating capacity are the most important physical attributes to increase sprint performance.⁶ A widely used approach to develop power output is called “optimal load” training, which consists of using the load that elicits P_{max} in a specific movement.⁷

It has been suggested that this training is effective for improving power output,^{7,8} as it provides an optimal load-specific stimulus to increase P_{max} ,⁸ and, therefore, sprint performance. Nevertheless, the P_{max} load in multijoint, sports-specific movements differs significantly across exercises, depending on the nature of the movement involved, the mechanical conditions of the different modalities used, and the moment of the season.⁷ In a different approach, Haff and Nimphius⁶ suggested the utilization of mixed methods consisting of the use of a broad range of loads and exercise types prescribed in a periodized fashion to optimize power output. This approach has been shown to result in a higher increase in P_{max} and allows for a more well-rounded development of the force–velocity (F – V) relationship.⁷ In this context, assisted and resisted sprint training protocols, which have been largely employed to enhance sprint and acceleration performance,⁹ play a key role.⁶ These sprint-specific training methods emphasize the force and velocity areas of the F – V curve.

Focusing on resisted sprint training, designed to increase neural activation and hip extensors' strength, there are different training exercises, such as weighted vest (WV) or belt running or jumping, weighted sled pulling, parachute towing, sand surface, or uphill running,^{10–12} All of these modalities allow the athlete to perform his sprint movement pattern with an added overload,¹⁰ which leads to positive adaptations. MacDougall and Sale¹³ suggested that training should be specific with regard to movement pattern, applied force, muscle activation type, and contraction velocity. Considering force application, the development of large forces is a fundamental requisite for inducing neuromuscular adaptations¹⁴ and functional enhancements of athletic tasks. However, sprint performance depends not only on the amount of total force produced, but also on the ability to exert such forces at a specific rate, and with an orientation similar to that required by the

Carlos-Vivas, Marín-Cascales, Freitas, and Alcaraz are with the Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain. Perez-Gomez is with Health, Economy, Motricity, and Education Research Group, Faculty of Sport Sciences, University of Extremadura, Caceres, Spain. Alcaraz is also with the Faculty of Sport Sciences, UCAM, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain. Carlos-Vivas (jcarlos@ucam.edu) is corresponding author.

mechanical demands of the task.¹⁵ In other words, the direction of the resultant ground reaction force vector, in response to the force applied by the athlete, will vary according to the conditions in which the force is exerted. Therefore, depending on the exercise, the work should focus more on the application of vertical or horizontal forces. For instance, previous studies on sprinting showed that horizontal forces were higher at the beginning of the sprint during the acceleration phase, and that vertical forces gradually increased with increments in velocity during the maximum velocity phase.¹⁶

In soccer, game analyses have shown that around 90% of the sprint efforts are usually shorter than 20 m,⁵ and that V_{\max} values reached are close to 31 to 32 km/h.¹⁷ Thus, the ability to develop maximal sprint speed in the shortest time possible (ie, acceleration) may be of great significance.¹⁸ However, it is also important to develop V_{\max} , as most sprints in soccer start in motion⁵ and with the body in a more straight position (more similar to the maximum velocity phase conditions). It is of utmost importance to emphasize that performance in both phases depends on different factors, and that acceleration and V_{\max} are separate and specific qualities.¹⁰ Therefore, the combination of different resisted training modalities might be the ideal solution for soccer, depending on the aim pursued. Coaches could use sled towing, horizontally oriented specific resistance, for developing the early acceleration attributes and WV, vertically oriented specific resistance, to enhance the V_{\max} capability. In fact, a previous study by Cronin et al¹¹ suggested that WV sprinting may be a more appropriate resistance training method for the latter stages of the acceleration and the maximum-velocity phase, although sled towing may be a more appropriate training modality for the early stages of the acceleration phase of sprinting. This idea is supported by a recent meta-analysis that reported that sled towing is an effective method for improving the early acceleration phase, but not for enhancing the maximum velocity phase of sprinting.¹⁹

Both WV and sled towing training techniques are commonly used by coaches and practitioners. However, even though sled towing sprinting is one of the most currently studied methods,^{9,11,20–22} there is little scientific evidence regarding WV sprinting, and the few studies that have used this modality have only assessed its effects on kinematics.^{9,11,23} This implies that most knowledge applied by practitioners is derived from their own training practices rather than from an evidence-based approach. To our knowledge, only 2 studies^{23,24} investigated the effects of increasing load on kinetics variables using WV sprint training. Such information is important for properly prescribing sprint training, which requires an understanding of the force–velocity–power profiling.

Therefore, the purposes of this study were to describe the load–velocity relationship in sprinting using WV in semiprofessional soccer players and to investigate the effects of increasing loads on spatiotemporal and derived kinetics variables. Furthermore, we aimed to determine which load maximized power output. We hypothesized: (1) an increase in the load would cause a decrement on the theoretical horizontal force, the P_{\max} , the maximum ratio of force, and the rate of decrease in ratio of force and (2) the load that would maximize power production would be close to the own athlete's body mass (BM; ie, unloaded condition).

Methods

Subjects

A total of 23 semiprofessional soccer players (age: 20.8 [1.5] y, height: 1.80 [0.06] m, and BM: 75.3 [7.3] kg) were recruited for the

study. All participants were currently competing in the third Spanish National Division. Normal team practice and competition schedule, consisting of 4 training sessions and 1 match per week, were maintained during the investigation period. In addition, all athletes performed the training sessions under the guidelines of the same coach. Testing procedures were conducted during the regular season in the month of April. Only players who had no injuries in the last 6 months, or no medical conditions that might have prevented maximal exertion, were included in the study. Players who were immersed in a rehabilitation phase in the 6 previous months, or during the study, were excluded. Participants were informed about the experimental procedures, possible risks, and the benefits associated with participating in the study, and then signed consent before performing any of the tests. The study was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki (2008) and was approved by the ethics committee of the Catholic University San Antonio of Murcia.

Design

A cross-sectional study was performed, with all players being tested in a single session. They were previously familiarized with the procedures and had experience using WV. The independent variable was the WV load, and the dependent variables were V_{\max} , maximum theoretical velocity (V_0), sprint time over 30 m (T_{30}), theoretical maximal horizontal force (F_0), P_{\max} , and the effectiveness of force application, which is determined by 2 variables: (1) the maximum value of ratio of force (RF_{\max}), defined as the theoretical maximal effectiveness of force application, and that corresponds to a direct measurement of the proportion of the total force produced that is oriented in the horizontal direction of motion at sprint start and (2) the rate of decrease in ratio of force (DRF), which describes the athlete's capability to limit the inevitable decrease in mechanical effectiveness as the running velocity increases.²⁵

Testing was conducted in-season, after 2 days of rest, to avoid possible interferences caused by fatigue. Participants completed a total of 10 all-out sprints over 30 m, while wearing a WV (GetStrong; Get Strong Fitness S.L., Ávila, Spain) with different loads (determined as a percentage of the athlete's BM) on an outdoor artificial turf 3G soccer field. They wore their own athletic gear during the tests: training clothes and soccer boots. Before starting the assessments, height and BM were measured to determine the relative loads for the WV (10%, 20%, 30%, and 40% BM). After that, all athletes performed a standardized specific warm-up, consisting of 8 minutes of low-intensity running, 7 minutes of active dynamic stretching, and 4 to 5 submaximal attempts of 30-m sprints, increasing progressively until maximum intensity and with a 90-second rest between trials.

Methodology

Sprint Assessment. For sprint assessment, we followed the protocol proposed in a recent study by Carlos-Vivas et al.²⁴ The main difference was that we used a wider loads range to see the effect of using higher loads on WV sprinting. Players started from a standing position, straight behind the starting line, and were encouraged to run as fast as possible. They sprinted unloaded and with 10%, 20%, 30%, and 40% of their BM (2 trials per load condition), with at least 6-minute passive rest between trials to minimize fatigue effects on performance. The first condition completed was always the unloaded one to avoid a possible

Table 1 Interload Relative Differences and Qualitative Outcomes on Spatiotemporal Variables

	Mean (SD)	Comparative assessment, % BM	Changes, % (90% CL)	Chances, %	Qualitative assessment	Qualitative outcome	P		
T_{30} , s	0%: 4.63 (0.18)	0 vs 10	4.3 (5.6 to 3.8)	100/0/0	Almost certainly	Moderate	<.001		
	10%: 4.83 (0.22)	0 vs 20	8.0 (7.3 to 8.8)	100/0/0	Almost certainly	Large			
	20%: 5.00 (0.21)	0 vs 30	11.8 (11.0 to 12.7)	100/0/0	Almost certainly	Very large			
	30%: 5.18 (0.25)	0 vs 40	16.9 (15.3 to 18.6)	100/0/0	Almost certainly	Very large			
	40%: 5.40 (0.30)	10 vs 20	3.6 (3.1 to 4.2)	100/0/0	Almost certainly	Moderate			
		10 vs 30	7.3 (6.6 to 8.0)	100/0/0	Almost certainly	Large			
		10 vs 40	12.3 (11.2 to 13.4)	100/0/0	Almost certainly	Very large			
		20 vs 30	3.5 (2.9 to 4.2)	100/0/0	Almost certainly	Moderate			
		20 vs 40	8.3 (7.2 to 9.4)	100/0/0	Almost certainly	Large			
		30 vs 40	4.7 (3.6 to 5.9)	100/0/0	Almost certainly	Moderate			
	V_{max} , m/s	0%: 8.49 (0.34)	0 vs 10	-4.7 (-5.6 to -3.8)	0/0/100	Almost certainly		Moderate	<.001
		10%: 8.09 (0.42)	0 vs 20	-8.4 (-9.2 to -7.6)	0/0/100	Almost certainly		Very large	
20%: 7.78 (0.39)		0 vs 30	-11.7 (-12.5 to -10.8)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
30%: 7.50 (0.44)		0 vs 40	-16.1 (-17.5 to -14.6)	0/0/100	Almost certainly	Nearly perfect			
40%: 7.16 (0.48)		10 vs 20	-3.9 (-4.5 to -3.3)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		10 vs 30	-7.3 (-8.1 to -6.5)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		10 vs 40	-12.1 (-13.1 to -11.0)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
		20 vs 30	-3.6 (-4.3 to -2.8)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		20 vs 40	-8.4 (-9.5 to -7.2)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		30 vs 40	-5.2 (-6.4 to -3.9)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
V_0 , m/s		0%: 8.99 (0.39)	0 vs 10	-5.2 (-6.2 to -4.2)	0/0/100	Almost certainly	Large	<.001	
		10%: 8.53 (0.49)	0 vs 20	-9.2 (-10.1 to -8.4)	0/0/100	Almost certainly	Very large		
	20%: 8.16 (0.45)	0 vs 30	-12.6 (-13.6 to -11.7)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
	30%: 7.86 (0.50)	0 vs 40	-17.3 (-18.9 to -15.7)	0/0/100	Almost certainly	Nearly perfect			
	40%: 7.47 (0.55)	10 vs 20	-4.2 (-4.4 to -3.7)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		10 vs 30	-7.9 (-8.8 to -6.9)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		10 vs 40	-12.9 (-13.1 to -11.0)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
		20 vs 30	-3.8 (-4.6 to -2.9)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		20 vs 40	-9.0 (-10.2 to -7.7)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		30 vs 40	-5.6 (-7.0 to -4.3)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			

Abbreviations: 0%, without extra load; 10%, extra load of 10% BM; 20%, extra load of 20% BM; 30%, extra load of 30% BM; 40%, extra load of 40% BM; BM, body mass; Chances, percentage chance of having better/similar/poorer values; CL, confidence limits; T_{30} , sprint time over 30-m sprint in seconds; V_0 , theoretical maximum velocity in m/s; V_{max} , maximum velocity in m/s.

postactivation potentiation effect interfering with the results. The subsequent trial order was individually determined for each athlete using a randomized sequence generated electronically with the computer software Research Randomizer (version 4.0) (<http://www.randomizer.org>). Sprint time was measured using timing gates from Microgate's WITTY System (Microgate, Bolzano, Italy) that were placed on the starting and finish lines, 1 m above ground level.²⁶ Time started counting once the players broke the light beam on the starting line and stopped when they broke it on the finish line, situated 30 m away from the starting line. A radar gun (Stalker ATS II; Applied Concepts, Richardson, TX), placed 5 m behind the starting line and 1 m above ground level, was used to measure instantaneous sprint velocity using a sampling frequency of 47 Hz. Only those sprints in which the velocity curve achieved a plateau zone were considered, indicating that V_{max} was reached. The sprint with the best time for each load condition was taken for analysis.

Sprint Mechanical Outputs Computation. Sprint performance and mechanical outputs were computed using a recently developed field method, which presented high reliability and concurrent validity when compared with force platform measurements (coefficient of variation of 2.93% [2.00%] and 1.87% [1.36%], and SEM of 3.57% [2.33%] for horizontal force and power, respectively).²⁷ This computation method is based on a macroscopic inverse dynamics analysis of the center of mass motion and allows for assessment of the sprinting power-velocity profile from only the anthropometric and spatiotemporal data obtained during 1 single sprint.²⁷ Raw velocity-time data, obtained from the radar device, were fitted by an exponential function and derived to compute the net horizontal ground reaction force and horizontal power output. Individual linear force-velocity relationships were then extrapolated to calculate F_0 and V_0 capabilities.²⁷ Finally, the mechanical effectiveness of force application was determined using the RF_{max} and the D_{RF} . Concretely, a higher RF_{max} means

(Ahead of Print)

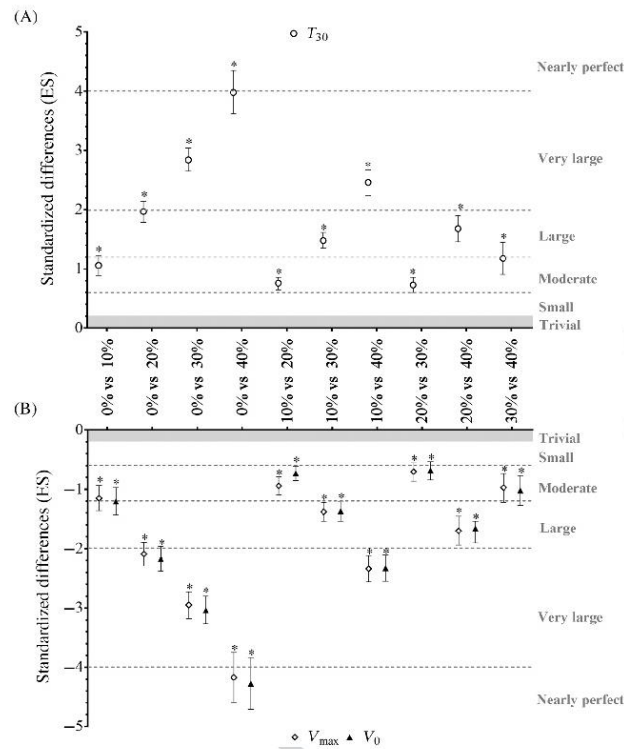


Figure 1 — Interloads ES comparison on T_{30} , V_{max} , and V_0 . Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Qualitative assessment: *almost certainly. ES, effect sizes; T_{30} , sprint time over 30-m sprint in seconds; V_{max} , maximum velocity in m/s; V_0 , theoretical maximum velocity in m/s.

that the player can direct the more important part of the total force output forward at the beginning of the sprint. However, a more negative D_{RF} means that this ratio of forces has a greater decrement as the running velocity increases.²⁵ P_{max} and RF_{max} were calculated using the following equations by Samozino et al²⁷:

$$P_{max} = \frac{F_0 \cdot V_0}{4} \quad \text{and} \quad RF = \frac{F_H}{\sqrt{F_H^2 + F_V^2}} \cdot 100$$

where P_{max} is the maximum power output, F_0 is the theoretical maximum horizontal force, V_0 is the theoretical maximum velocity, RF is the ratio of forces, F_H is the horizontal force, and F_V is the vertical force for each step.

Statistical Analysis

Descriptive statistics summarized all demographic characteristics and outcomes. Data are presented as mean (SD). All data were log transformed for analysis to reduce bias arising from nonuniformity errors of the data and then analyzed for practical significance using magnitude-based inferences.²⁸ The effect size (ES; 90% confidence

limit) in the selected variables was calculated using the SD. Threshold values for Cohen's ES statistics were as follows: >0.2, small; >0.6, moderate; >1.2, large; >2.0, very large; and >4.0, nearly perfect.²⁸ The chance that any difference was better/greater (ie, greater than the smallest worthwhile change [0.2 multiplied by the between-subject SD, based on Cohen's d ES]), or similar or worse/smaller than the other group, was subsequently calculated.²⁹ Quantitative chances of an effect being better or poorer were assessed qualitatively as follows: <1%, almost certainly not; 1% to 5%, very unlikely; 5% to 25%, unlikely; 25% to 75%, possible; 75% to 95%, likely; 95% to 99%, very likely; and >99%, almost certain. If the chance of having better and poorer as >5%, the true difference was considered unclear.²⁹ If the chance was >75%, data were considered substantially different.

Results

Table 1 shows the relative differences and qualitative outcomes resulting from the interloads analyses regarding the spatiotemporal variables measured. Likewise, Figure 1 illustrates the ES

comparison between the different loads. As expected, an almost certain increase on T_{30} (ES = 0.73–3.98; moderate to very large; $P < .001$) was observed when the load increased. Conversely, there was an almost certain decrease in V_{max} (ES = 0.70–4.17; moderate to nearly perfect; $P < .001$) and V_0 (ES = 0.68–4.28; moderate to nearly perfect; $P < .001$) as the load increased.

Table 2 displays the sprint kinetic variables and their relative differences and qualitative outcomes resulting from the interloads analyses, and Figures 2 and 3 illustrate the ES comparison between the different loads used. There was an almost certain reduction in F_0 (ES = 0.78–3.35; moderate to very large; $P < .001$), P_{max} (ES = 0.78–3.81; moderate to very large; $P < .001$), and RF_{max}

Table 2 Interload Relative Differences and Qualitative Outcomes on Kinetic Variables

	Mean (SD)	Comparative assessment, % BM	Changes, % (90% CL)	Chances, %	Qualitative assessment	Qualitative outcome	P		
F_0 , N/kg	0%: 7.26 (0.52)	0 vs 10	-5.9 (-6.9 to -5.0)	0/0/100	Almost certainly	Moderate	<.001		
	10%: 6.83 (0.49)	0 vs 20	-11.2 (-12.5 to -10.0)	0/0/100	Almost certainly	Large			
	20%: 6.44 (0.42)	0 vs 30	-16.7 (-17.9 to -15.5)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
	30%: 6.05 (0.43)	0 vs 40	-22.1 (-23.8 to -20.3)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
	40%: 5.70 (0.42)	10 vs 20	-5.7 (-6.7 to -4.6)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		10 vs 30	-11.5 (-12.2 to -10.7)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		10 vs 40	-17.2 (-18.6 to -15.9)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
		20 vs 30	-6.1 (-7.0 to -5.3)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		20 vs 40	-12.2 (-13.4 to -10.9)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		30 vs 40	-6.5 (-7.8 to -5.1)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
	P_{max} , W/kg	0%: 16.4 (1.8)	0 vs 10	-10.8 (-12.4 to -9.2)	0/0/100	Almost certainly		Moderate	<.001
		10%: 14.6 (1.8)	0 vs 20	-19.4 (-21.1 to -17.8)	0/0/100	Almost certainly		Large	
20%: 13.2 (1.5)		0 vs 30	-27.3 (-28.8 to -25.7)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
30%: 11.9 (1.6)		0 vs 40	-35.6 (-38.0 to -33.1)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
40%: 10.7 (1.5)		10 vs 20	-9.7 (-11.0 to -8.3)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		10 vs 30	-18.4 (-19.7 to -17.1)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		10 vs 40	-28.0 (-29.8 to -26.0)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
		20 vs 30	-9.7 (-11.1 to -8.2)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		20 vs 40	-20.0 (-22.1 to 17.9)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		30 vs 40	-11.7 (-14.1 to -9.3)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
RF_{max} , %		0%: 43.8 (2.0)	0 vs 10	-4.6 (-5.4 to -3.8)	0/0/100	Almost certainly	Moderate	<.001	
		10%: 41.8 (2.3)	0 vs 20	-8.3 (-9.1 to -7.6)	0/0/100	Almost certainly	Large		
	20%: 40.2 (1.9)	0 vs 30	-12.5 (-13.4 to -11.7)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
	30%: 38.3 (2.2)	0 vs 40	-17.1 (-18.6 to -15.6)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
	40%: 36.5 (2.3)	10 vs 20	-3.9 (-4.6 to -3.2)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		10 vs 30	-8.3 (-9.0 to -7.7)	0/0/100	Almost certainly	Large			
		10 vs 40	-13.3 (-14.3 to -11.8)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
		20 vs 30	-4.6 (-5.4 to -3.8)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
		20 vs 40	-9.6 (-10.8 to -8.3)	0/0/100	Almost certainly	Very large			
		30 vs 40	-5.4 (-6.7 to -4.0)	0/0/100	Almost certainly	Moderate			
	D_{RF} , %	0%: -7.55 (0.26)	0 vs 10	-0.1 (-1.1 to 0.9)	8/76/17	Unclear	Trivial		.80
		10%: -7.56 (0.25)	0 vs 20	0.7 (-0.6 to 2.0)	47/49/4	Possibly	Trivial		
20%: -7.50 (0.28)		0 vs 30	2.5 (1.2 to 3.8)	99/1/0	Very likely	Moderate			
30%: -7.36 (0.25)		0 vs 40	3.1 (1.5 to 4.7)	99/1/0	Very likely	Moderate			
40%: -7.33 (0.28)		10 vs 20	0.8 (-0.3 to 1.9)	56/43/1	Possibly	Small			
		10 vs 30	2.7 (1.7 to 3.7)	100/0/0	Almost certainly	Moderate			
		10 vs 40	3.2 (2.0 to 4.4)	100/0/0	Almost certainly	Moderate			
		20 vs 30	1.8 (1.0 to 2.6)	99/1/0	Very likely	Small			
		20 vs 40	2.4 (1.6 to 3.2)	100/0/0	Almost certainly	Moderate			
		30 vs 40	0.4 (-0.5 to 1.3)	27/71/2	Possibly	Trivial			

Abbreviations: 0%, without extra load; 10%, extra load of 10% BM; 20%, extra load of 20% BM; 30%, extra load of 30% BM; 40%, extra load of 40% BM; BM, body mass; Chances, percentage chance of having better/similar/poorer values; CL, confidence limits; D_{RF} , decrease in ratio of forces, as a percentage; F_0 , theoretical maximum horizontal force in N/kg; P_{max} , maximum horizontal power output in W/kg; RF_{max} , maximum ratio of forces, as a percentage.

(Ahead of Print)

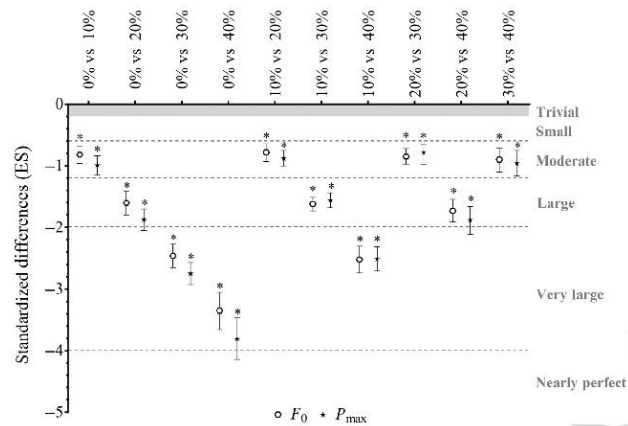


Figure 2 — Interloads ESs comparison on F_0 and P_{max} . Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Qualitative assessment: *almost certainly. ES indicates effect sizes; F_0 , theoretical maximum horizontal force in N/kg; P_{max} , maximum horizontal power output in W/kg.

(ES = 0.82–3.87; moderate to very large; $P < .001$) when the load increased, as opposed to D_{RF} (ES = 0.04–0.91; trivial to moderate; $P = .80 < .001$), in which an increment was observed. P_{max} data show that the load that maximized power output was close to the players' BM (Figure 4).

Discussion

Weighted vest sprinting is a popular resisted training modality designed to develop strength and power of the lower limbs in many sports, such as soccer. In this study, we aimed to describe both the force–velocity–power relationship as well as the effects of increasing WV load on sprinting spatiotemporal and kinetic variables. Furthermore, we intended to determine the load that maximized power output in semiprofessional soccer players with the aim of helping coaches and practitioners design sprinting training programs. The results confirmed the hypothesis that increasing the load would cause a decrease on F_0 , P_{max} , RF_{max} , and an increment on D_{RF} . Likewise, P_{max} was achieved close to the players' BM.

Regarding the spatiotemporal variables, there was an increment on sprint time and a decrease on V_{max} when the load increased, which is in line with previous studies that used WV sprinting.^{9–11,23,24} An increment of 10% BM in the WV decreased around 4% to 5% the V_{max} . Specifically, the 4.7% decrement on V_{max} with 10% BM compared with the unloaded condition is similar to previous investigations that reported a reduction of 3.5%,²³ 3.8%,¹⁰ and 4.3%²⁴ using a similar percentage of BM. Cross et al²³ showed a 5.6% decrease on V_{max} using 20% BM, a value comparable with the 8.8% decrement in this study when the same relative load was used. Moreover, there was a 7.7% increase in T_{30} using 20% BM, following the same trend observed in Cronin et al¹¹ study, which, nevertheless, reported an increase of 11.7%. This decrease on sprint performance when increasing load was probably caused by a reduction of step length, step frequency, flight time, and an increment in the contact time during the stance phase.¹²

Concerning the kinetic parameters, F_0 substantially decreased 6% to 7% for every 10% increase in load. A previous study that observed the effects of different WV loads on horizontal force²³ reported a nonsignificant effect during the acceleration and V_{max} phases. These effects on F_0 may be due to the fact that the applied load is vertically oriented and that a straighter position of the athletes' trunk is evident on a 2-stance starting position. Furthermore, a reduction in the players' ability to control the additional mass added around their trunk when using WV¹¹ may explain the results obtained. Interestingly, P_{max} was achieved under unloaded conditions and also decreased when the load increased. Specifically, there was an 11% to 14% decrement for every 10% load increase. This supports the idea that the muscular system of the lower body could be designed to produce P_{max} in rapid unloaded movements. It is worth noting that this study elucidated the load that maximizes power production on WV sprinting, while a previous research²⁴ showed unclear outcomes. In fact, the 2 studies^{23,24} that analyzed P_{max} reported nonsignificant²³ or unclear²⁴ changes during the acceleration phase of sprinting using a WV. However, the methods used for calculating P_{max} were different. Thus, care must be taken when comparing the outcomes because the methods used are different. On the one hand, just as in this study, Carlos-Vivas et al²⁴ computed P_{max} using the method proposed by Samozino et al.²⁷ On the other hand, Cross et al²³ used a Woodway Force 3.0 treadmill ergometer and estimated P_{max} as the product of the force exerted on the horizontal load cell and the velocity of the treadmill.

Longtime, Bosco et al³⁰ emphasized the possibility of increasing vertical power output using WV training, as this device allows for increasing the eccentric load on the extensor muscles during the braking phase. This loading may help to increase the muscles' capacity to store elastic energy and improve power production. However, as shown before, our results indicated that P_{max} was achieved under unloaded conditions. This dissonance can be explained by the method used to compute power. In the one method proposed by Samozino et al,²⁷ P_{max} is calculated considering F_0 rather than the resultant force. Thus, because the

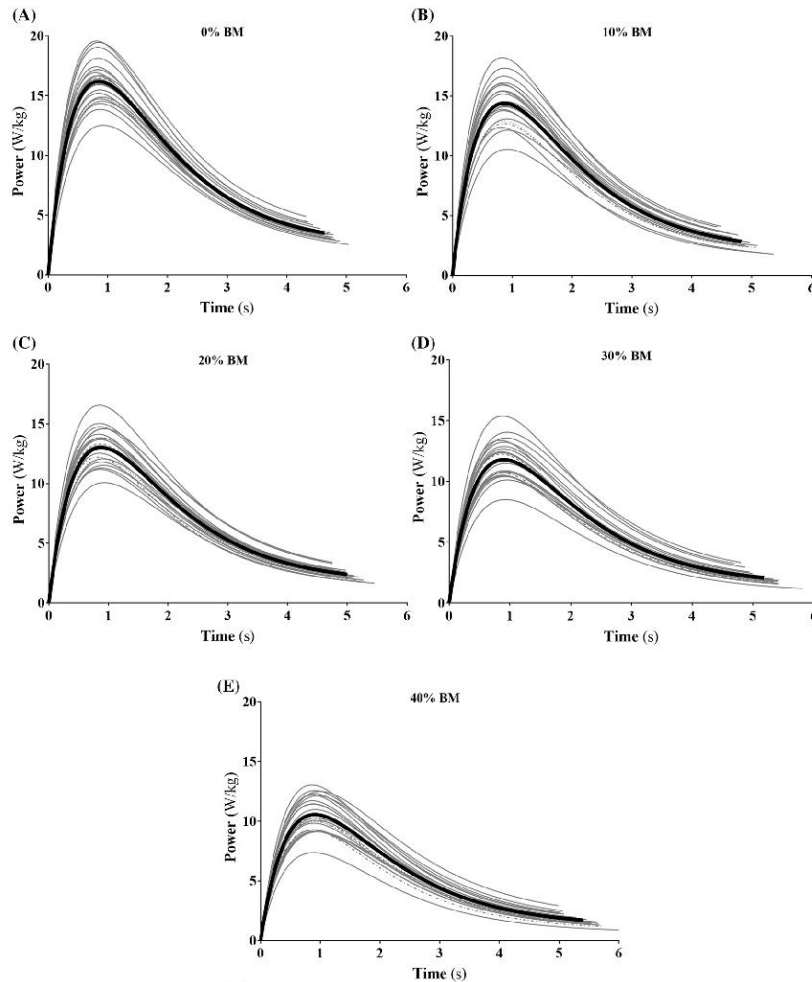


Figure 3 — Intraload comparison of the power–time curve between players. (A) 0% BM: without extra load, (B) 10% BM: extra load of 10% BM, (C) 20% BM: extra load of 20% BM, (D) 30% BM: extra load of 30% BM, and (E) 40% BM: extra load of 40% BM. BM, body mass. The bold line represents the mean of the power–time curve for each load and the light gray line shows the power–time curve of each player under the different load conditions.

horizontal force production and velocity were reduced by the vertically oriented vest loading, it is unlikely that it would provide a horizontal power stimulus (Figure 3). Perhaps, it may be hypothesized that the WV could be useful to increase vertical power during the maximum-velocity phase in which the vertical component of ground reaction force assumes a greater importance.

To our knowledge, this is the first study to investigate the effect of different WV loads on the effectiveness of force application during sprinting that is determined by the RF_{max} and the D_{RF} .

Analyzing these variables, we observed that there was a substantial decrease on the RF_{max} as the load increased. This would be expected, knowing that this variable is computed at the beginning of the sprint, where the application of horizontal forces is very important in accelerating the body forward,¹⁶ and that the WV increases the load vertically. There was also a general increase on D_{RF} as the load increased, which was substantially greater when the load was heavier than 20% BM. This reflected a better ability to maintain the net horizontal force production as the velocity

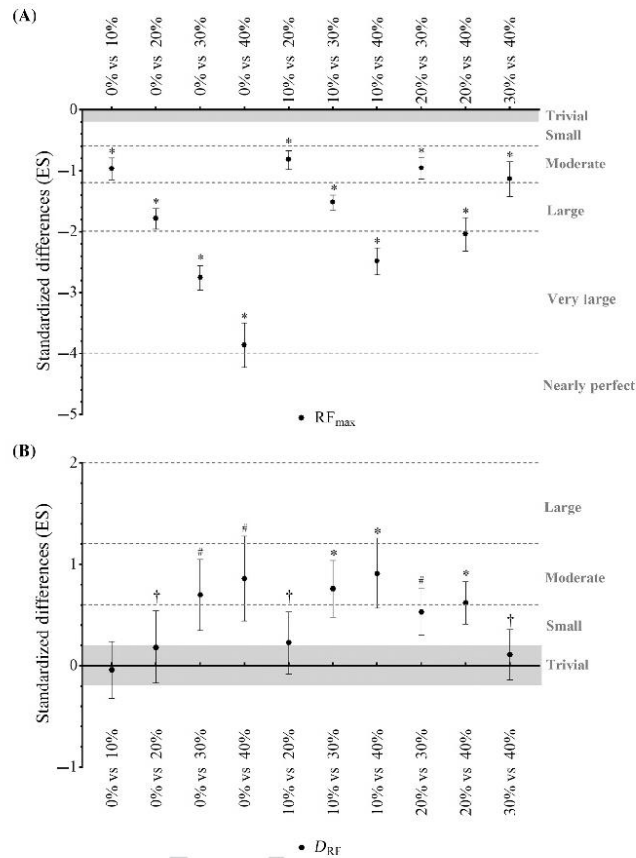


Figure 4 — Interloads ESs comparison on RF_{max} and D_{RF} . Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Qualitative assessment: †possibly, #very likely, *almost certainly. ES indicates effect size; RF_{max} , maximum ratio of forces, as a percentage; D_{RF} , decrease in ratio of forces, as a percentage.

increased. However, caution should be taken when interpreting the results, as the less negative slope with heavier loads was conditioned by a substantial lower sprint, RF_{max} and V_{max} . In addition, the results seem to indicate that the load increment on the vertical component might more negatively affect the RF_{max} than the achieved V_{max} , particularly when the load is higher than 20% BM.

According to previous literature,^{9-11,21,22} there is no doubt that RST exercises are an effective approach to increasing the athlete's ability to generate horizontal and vertical sprinting forces, depending on the direction of the applied resistance arising from the training exercise. However, it is important to understand that each resisted technique provides a different training stimulus¹⁸ and that both of them may be prescribed, depending on the training objectives. In sprinting with a WV, the additional resistance on the athlete arises from the weight of the device and is directed vertically downward, whereas a weighted sled trails behind the

athlete, and the resistance force on the athlete is directed slightly downward as well as backward because the attachment point to the sled is lower than the attachment point to the athlete. The findings found in previous research could indicate that resisted sled towing may be a better option to improve the early acceleration phase, as this method seems to more accurately reproduce its conditions (increased athlete's trunk lean, higher duration, and horizontal force production during the stance phase to accelerate the body forward).^{18,20} By contrast, WV sprinting could be better for promoting maximum-velocity adaptations. This modality has less of an effect on trunk angle (ie, the athlete remains more upright) and, during the latter stages of the acceleration and the maximum velocity phases (where braking forces are a more significant component¹¹), it provides a greater eccentric braking load at the beginning of the stance phase. Remarkably, this eccentric stimulus could also provide positive adaptations on

change-of-direction ability, which is essential in soccer performance.³¹ Nevertheless, it would be necessary that future research assess the long-term effects of combining horizontal and vertical loading resisted methods on sprint performance and change of direction ability, considering the acute effects found this study and previous research, and knowing that it is well documented that horizontal forces are higher in the first steps and vertical forces are higher in the remaining meters,¹⁶ as athletes need to constantly overcome the force of gravity.

The main limitations of this study are that the calculation method used to compute the kinetic variables only considers the horizontal components of force and power, and that the results are calculated for sprints from a static starting position. Future studies should investigate the effects of combining vertically and horizontally oriented specific training methods on sprint performance, change-of-direction ability, jumping, and other key physical capabilities in team sports. Moreover, they should clarify the training dose required to enhance performance using these training modalities.

Practical Applications

This study provides important information to coaches and practitioners about the effects of increasing load on spatiotemporal and kinetic parameters for WV sprinting in soccer. The data of this study may help choosing the adequate resisted training device, depending on the objectives pursued. If the aim of the coach or practitioner is to improve the acceleration phase, unloaded sprinting may be a better stimulus than WV sprinting. However, if the goal is to enhance the maximum velocity phase, WV sprinting with $\leq 20\%$ BM seems to be a good option.

Conclusions

The results obtained clearly show that increasing load on WV sprinting affects the spatiotemporal and kinetic variables. However, the greatest change happens with loads heavier than 20% BM, especially in the ratio of forces. In addition, P_{\max} is achieved with loads close to the athlete's own BM. Therefore, it is recommended to use loads among 0% to 20% BM for WV sprinting, especially for improving the V_{\max} .

Acknowledgment

The authors would like to thank Alberto Castillo, PhD and Francisco Javier Toscano, PhD for their help in recruiting athletes for the study.

References

- Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(2):148–156. PubMed ID: 22868347 doi:10.1123/ijspp.8.2.148
- Tønnessen E, Hem E, Leirstein S, Haugen T, Seiler S. Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989–2012. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013;8(3):323–329. PubMed ID: 23118070
- Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Speed and countermovement-jump characteristics of elite female soccer players, 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perform.* 2012;7(4):340–349. PubMed ID: 22645175 doi:10.1123/ijspp.7.4.340
- Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci.* 2012;30(7):625–631. PubMed ID: 22394328 doi:10.1080/02640414.2012.665940
- Haugen TA, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014; 9(3):432–441. PubMed ID: 23982902 doi:10.1123/ijspp.2013-0121
- Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. *Strength Cond J.* 2012;34(6):2–12. doi:10.1519/SSC.0b013e31826db467
- Comrie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2—training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.* 2011;41(2):125–146. PubMed ID: 21244105 doi:10.2165/11538500-000000000-00000
- McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res.* 2002;16(1):75–82. PubMed ID: 11834109
- Clark KP, Stearne DJ, Walts CT, Miller AD. The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sleds vs weighted vests. *J Strength Cond Res.* 2010;24(12):3287–3295. PubMed ID: 19996786 doi:10.1519/JSC.0b013e3181b62e0a
- Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL, Linthorne NP. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3):890–897. PubMed ID: 18438225 doi:10.1519/JSC.0b013e31816611ea
- Cronin JB, Hansen K, Kawamori N, McNair P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech.* 2008;7(2):160–172. PubMed ID: 18610770 doi:10.1080/14763140701841381
- Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL. Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res.* 2009;23(2):480–485. PubMed ID: 19197200 doi:10.1519/JSC.0b013e31819892c
- MacDougall D, Sale D. Continuous vs. interval training: a review for the athlete and the coach. *Can J Appl Sport Sci.* 1981;6(2):93–97. PubMed ID: 7016358
- Sáez-Sáez de Villarreal E, Requena B, Newton RU. Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2010;13(5):513–522. PubMed ID: 19897415 doi:10.1016/j.jsams.2009.08.005
- Kugler F, Janshen L. Body position determines propulsive forces in accelerated running. *J Biomech.* 2010;43(2):343–348. PubMed ID: 19863962 doi:10.1016/j.jbiomech.2009.07.041
- 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.* 2015;25(5):583–594. PubMed ID: 25640466 doi:10.1111/sms.12389
- Rampinini E, Bishop D, Marcora S, Bravo DF, Sassi R, Impellizzeri F. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med.* 2007;28(3):228–235. PubMed ID: 17024621 doi:10.1055/s-2006-924340
- Cronin J, Hansen KT. Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *Strength Cond J.* 2006;28(4):38–39. doi:10.1519/00126548-200608000-00005
- Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, Martínez-Rodríguez A. The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48(9):2143–2165. PubMed ID: 29926369 doi:10.1007/s40279-018-0947-8
- Alcaraz P, Elvira J, Palao J. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand*

10 Carlos-Vivas et al

- J Med Sci Sports*. 2014;24(2):279–290. PubMed ID: 22672673 doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x
21. Cross MR, Brughelli M, Samozino P, Brown SR, Morin JB. Optimal loading for maximizing power during sled-resisted sprinting. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12(8):1069–1077. PubMed ID: 28051333 doi:10.1123/ijsp.2016-0362
22. Morin JB, Petrakos G, Jiménez-Reyes P, Brown SR, Samozino P, Cross MR. Very-heavy sled training for improving horizontal-force output in soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12(6):840–844. PubMed ID: 27834560 doi:10.1123/ijsp.2016-0444
23. Cross MR, Brughelli ME, Cronin JB. Effects of vest loading on sprint kinetics and kinematics. *J Strength Cond Res*. 2014;28(7):1867–1874. PubMed ID: 24378661 doi:10.1519/JSC.0000000000000354
24. Carlos-Vivas J, Freitas TT, Cuesta M, Perez-Gomez J, De Hoyo M, Alcaraz PE. New tool to control and monitor weighted vest training load for sprinting and jumping in soccer.[published online ahead of print April 26, 2018] *J Strength Cond Res*. PubMed ID: 29702519 doi:10.1519/JSC.00000000000002580
25. Morin JB, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(2):267–272. PubMed ID: 26694658 doi:10.1123/ijsp.2015-0638
26. Spencer M, Pyne D, Santisteban J, Mujika I. Fitness determinants of repeated-sprint ability in highly trained youth football players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2011;6(4):497–508. PubMed ID: 21937759 doi:10.1123/ijsp.6.4.497
27. Samozino P, Rabita G, Dorel S, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports*. 2016;26(6):648–658. PubMed ID: 25996964 doi:10.1111/sms.12490
28. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(1):3–13. PubMed ID: 19092709 doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
29. Suarez-Arrones L, Arenas C, López G, Requena B, Terrill O, Mendez-Villanueva A. Positional differences in match running performance and physical collisions in men rugby sevens. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(2):316–323. PubMed ID: 23881362 doi:10.1123/ijsp.2013-0069
30. Bosco C, Rusko H, Hirvonen J. The effect of extra-load conditioning on muscle performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1986; 18(4):415–419. PubMed ID: 3747801 doi:10.1249/00005768-198608000-00009
31. Tous-Fajardo J, Gonzalo-Skok O, Arjol-Serrano JL, Tesch P. Enhancing change-of-direction speed in soccer players by functional inertial eccentric overload and vibration training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(1):66–73. PubMed ID: 25942419 doi:10.1123/ijsp.2015-0010

ANEXO 4. ARTÍCULO Nº 4: ¿AFECTA LA DIRECCIÓN DE LA CARGA (VERTICAL VS HORIZONTAL) EN EL ENTRENAMIENTO RESISTIDO DE ESPRINT SOBRE LAS ADAPTACIONES DEL RENDIMIENTO EN EL FÚTBOL?

Carlos-Vivas J, Pérez-Gómez J, Eriksrud O, Freitas TT, Marín-Cascales E, & Alcaraz PE (2019). Does direction of load (vertical vs. horizontal) of resisted sprint training affect performance adaptations in soccer? *Int J Sport Physiol* (under review).



Does direction of load (vertical vs. horizontal) of resisted sprint training affect performance adaptations in soccer?

Journal:	<i>International Journal of Sports Physiology and Performance</i>
Manuscript ID	IJSPP.2019-0355
Manuscript Type:	Original Investigation
Date Submitted by the Author:	15-May-2019
Complete List of Authors:	Carlos-Vivas, Jorge; Universidad Catolica San Antonio de Murcia, UCAM Research Center for High Performance Sport Perez-Gomez, Jorge; University of Extremadura, Eriksrud, Ola; Norwegian School of Sport Sciences, Department of Physical Performance Freitas, Tomás; Universidad Catolica San Antonio de Murcia, Research Center for High Performance Sports Marín-Cascales, Elena alcaraz, Pedro; Universidad Catolica San Antonio de Murcia - Campus de los Jeronimos, Research Center for High Performance Sport
Keywords:	agility, cutting, football, ground reaction forces, power, speed

Title: Does direction of load (vertical vs. horizontal) of resisted sprint training affect performance adaptations in soccer?

Submission type: Original Investigation

Preferred running head: 8-week resisted sprint training in soccer

Authors and Affiliations:

Jorge Carlos-Vivas¹; Jorge Perez-Gomez²; Ola Eriksrud³; Tomás T. Freitas¹, Elena Marín-Cascales¹, Pedro E. Alcaraz^{1,4}

¹UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain.

²Health, Economy, Motricity and Education Research Group, Faculty of Sport Sciences, University of Extremadura, Caceres, Spain.

³Department of Physical Performance, Norwegian School of Sports of Sciences, Oslo, Norway.

⁴Faculty of Sport Sciences, UCAM, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain.

Corresponding Author:

Name: Pedro E. Alcaraz Ramón

Affiliation/Institution: UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain

Mail address: Campus de los Jerónimos, nº 135. 30107. Guadalupe, Murcia (Spain).

Telephone number: (+34) 968 278 566

E-mail address: palcaraz@ucam.edu

Abstract word count: 249 words.

Text-only word count: 3672 words.

Number of figures: 3.

Number of tables: 5.

DOES DIRECTION OF LOAD (VERTICAL VS. HORIZONTAL) OF RESISTED SPRINT TRAINING AFFECT PERFORMANCE ADAPTATIONS IN SOCCER?

ABSTRACT

Purpose: To analyse and compare the effects of four different resisted sprint training (RST) modalities on youth soccer players' performance after 8 weeks of training. **Methods:** Forty-eight youth soccer players [18.3 (2.1) years] completed 8 weeks of RST and were randomly assigned to 4 groups: horizontal resisted sprint (HRS), vertical resisted sprint (VRS), combined resisted sprint (CRS) and unresisted sprint (URS). The performance on horizontal and vertical jump, sprint and change-of-direction ability (COD) were assessed one week before and after the training intervention. Magnitude-based inferences (MBI) analysis was performed for calculating within-groups pre-post differences. Additionally, an ANCOVA test was performed for between-group comparison, using the pre-test values as covariates. After that, the ANCOVA p-values and the effect statistic was transformed to MBI. **Results:** Within-group outcomes showed that all resisted training modalities experienced improvements in sprint (*small to moderate*) and COD (*small to large*) performance. Moreover, all groups, except URS, enhanced the horizontal jump performance. However, only VRS improved on vertical jump. Between-group comparison outcomes revealed that only VRS improved the sprint time compared to HRS (*moderate*) and COD performance compared to all groups (*moderate to large*). Additionally, VRS enhanced the countermovement jump (CMJ) performance (*small to large*) compared to the other groups. **Conclusions:** Independently of the orientation of the resistance applied, RST is an effective training method for improving sprinting and COD performance. Nevertheless, VRS may promote greater improvements on sprint and COD ability, and have a positive additional effect on CMJ performance and the reduction of COD deficit.

Keywords: agility, cutting, football, ground reaction forces, power, speed

INTRODUCTION

Sprinting, change-of-direction (COD) and jumps are fundamental qualities to soccer performance and inherent to common actions such as scoring a goal, assisting a teammate or anticipating opponents' behaviour¹. A soccer player performs hundreds of CODs during a match², with most of them being initiated at low velocities and followed by a linear sprint. Specifically, the most typical high-intensity action is a 100-120 degrees COD, immediately followed by a 5-20 m linear sprint². Thus, COD ability is partially related to the linear sprinting ability and requires both horizontal and vertical propulsive forces³. In fact, athletes who produce greater vertical and horizontal propulsive forces have a better performance in COD tasks³. Furthermore, well-developed strength in lower limbs is important for soccer players, as this capacity influences power performances and the success in high-intensity skills (sprint, COD and jumping). Thus, it appears that power and speed training are crucial qualities to target in the development of soccer players.

In order to develop these qualities, MacDougall and Sale⁴ argued that training should be specific with regard to movement pattern, applied force, muscle activation type, and contraction velocity. Thus, not surprising that training routines in soccer include training methods which involve specific motor tasks, such as resisted sprinting or plyometrics. In this regard, RST, where athletes sprint with an added overload, has been shown as an effective training method for enhancing performance⁵. Additionally, RST modalities may also produce a positive effect on COD ability, and thereby further improve athletic performance. A few previous studies have analysed the effects of low-load⁶ and heavy-load⁷ RST programs on soccer players with reported improvements in COD performance, but not better than unresisted sprint training (URS)⁶ or other training programs, such as squat training or plyometrics. More recently, Rodriguez-Osorio and co-authors⁸ concluded that 6 weeks of RST with COD without an additional load, moderate loads (12.5% body mass) and heavy loads (50% body mass) may

have positive effects on sprinting, COD, and jumping performance, especially using moderate loads.

RST modalities with different directions of load (i.e. sled, weighted vest, and parachute)⁹⁻¹¹ are commonly utilized by coaches and practitioners. Regarding the direction of force application, it is clear that the development of large forces is a key quality for inducing neuromuscular adaptations and functional enhancements of athletic tasks¹². However, coaches and practitioners must take into account that performance also depends on the ability to apply such forces at specific rates, and with orientations similar to those required by the mechanical demands of the task⁴. In this regard, an important difference between the RST modalities, which may affect the adaptations, is the orientation of the resistance applied⁹. In fact, recent studies showed that chronic performance (i.e. sprinting and jumping) and biomechanical adaptations (i.e. effectiveness of applied force and stiffness) may be associated with vertically and/or horizontally-oriented training programmes¹³⁻¹⁵. Thus, the direction of the resultant GRF vector, related to the force applied by the athlete, will differ according to the conditions in which the force is applied¹⁶. Therefore, coaches should have a clear understanding of both vertical and horizontal force requirements of a given task. For instance, previous studies on sprinting showed that horizontal forces were higher during the first steps in the acceleration phase, while vertical forces became more important as velocity increased^{17,18}. It is important to note that these studies were performed on sprinters using starting blocks, which in team-sports such as soccer, is different because sprinting starts from an upright standing position or in motion¹⁹.

To better understand acceleration and maximum velocity, important to many sports, ground reaction forces (GRF) have been widely studied^{17,18,20,21}. Recently, Colyer and co-authors reported that sprinters produced greater average horizontal power than soccer players during the acceleration phase, which prolongs their acceleration phase and thereby allowing them to obtain a greater maximum velocity²⁰. Thus, a greater average anteroposterior force production

during the acceleration phase with the ability to maintain a more horizontally-orientated force vector as velocity increases are crucial performance indicators¹⁸. A recent meta-analysis by Alcaraz and co-authors about RST using sleds reported that they are effective for improving the acceleration phase of sprint, but not for the maximum-velocity phase⁵. This might be due to the importance of being able to generate greater horizontal forces during the acceleration phase, while the ability to exert high vertical normalized force (body mass) with short ground contacts is limiting for the maximum velocity phase²¹. Therefore, Cronin and co-authors suggested that RST using weighted vest, to target a vertically-oriented resistance, may be a more appropriate resistance modality for high velocities training¹¹. In fact, it has been shown that the transition from lower to higher velocities results in shorter support phases with increases in peak vertical force²². The ability to produce large vertical forces during the maximum velocity phase is associated with better sprint performances¹⁷. However, to the authors' knowledge, no studies have investigated the adaptations to RST interventions using resistance modalities to target a vertically oriented resistance (e.g. weighted vest). Moreover, a weighted vest can be used when performing COD, while sleds cannot.

In summary, it appears that both vertically- and horizontally-oriented RST, and the combination of both, may improve both sprint and COD performance, fundamental qualities to soccer performance. Therefore, the aim of the study was to analyse and compare the effects of different RST modalities on youth soccer players' performance after 8 weeks of linear and COD sprint training. The authors hypothesized that: 1) all RST groups will experience improvements in sprint and COD performance, and they will also likely obtain enhancements in horizontal and vertical jump performance, and 2) the groups that performed RST with horizontally and vertically oriented resistance will achieve the greatest improvements in horizontal and vertical-oriented exercises, respectively.

MATERIALS AND METHODS

Design

A randomized pre-post 10-week experimental study was performed: one week pre-testing, eight weeks of RST and one week post-testing. Specifically, players were randomly assigned to four groups: vertical resisted sprint (VRS; n=11), horizontal resisted sprint (HRS; n=13), combined resisted sprint (CRS; n=12) and unresisted sprint (URS; n=12). Normal team practice and competition schedule, consisting of 3 training sessions and 1 match per week, were maintained during the intervention period. To monitor internal training load, rating of perceived exertion²³ was documented at the end of each training session. No between-group differences in internal training load were observed ($P=0.853$).

Subjects

Sixty male youth soccer players were recruited but only forty-eight [age: 18.3 (2.1) years; height: 1.78 (0.05) m; weight: 72.7 (9.5) kg] completed the study. Twelve players dropped out of the study for different reasons: unable to complete 90% of training sessions (n=5), suffered an adverse event (n=1) or lower limb injury (n=2), or promoted to a higher level team (n=4). All of the players had previous experience in RST. The inclusion criteria were: no injuries in the past six months that limited sports participation for more than seven days and no medical condition preventing maximal exertion. Participants were informed about the experimental procedures, possible risks, and the benefits associated with participation before signing the consent form prior to testing. The study was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the institutional ethics committee.

Training program. All training groups performed the same RST protocol twice a week in none consecutive days (matchday -4 and matchday -2) during 8 weeks. The main difference between RST groups was the equipment used to apply resistance. Specifically, the VRS wore a weighted vest (GetStrong, Get Strong Fitness S.L., Ávila, Spain) to primarily target vertical loading,

while the HRS used a portable robotic resistance device (1080 Sprint™, 1080 Motion, Lidingö, Sweden) featuring a servo motor (2000 RPM OMRON G5 Series Motor, OMORON Corporation, Kyoto, Japan) to provide a horizontal resistance attached to the player using a pelvic belt. CRS combined both resistance modalities (weighted vest and 1080 Sprint™), while URS performed the same training without resistance. The training program followed an undulating periodization, combining linear sprinting sessions (8 sessions) and COD sessions (8 sessions), which consisted of slalom sprinting with 100° COD set at 5-m intervals. The maximum external load was set to 20% of body mass (BM), independently of equipment used, based on previous weighted vest¹⁰ and sled⁵ recommendations. Since horizontal load was prescribed using the 1080 Sprint™. An estimated friction coefficient of 0.35 was used to convert sled recommendations to horizontal resistance (0.35·%BM). The RST protocol (Table 1) was performed after a standard warm-up at the beginning of the training sessions.

****Table 1 near here****

Methodology

Testing was conducted in-season, after 2 days of rest to limit the influence of fatigue. Players wore their own athletic equipment during the tests: training clothes and soccer boots. Prior to testing, players performed a standardized warm-up consisting of 8-min low-intensity running, 7-min active dynamic stretching, 3-4 submaximal vertical jumps and 3-4 submaximal to maximal 30-m sprints with a 90-s rest between trials. Afterwards, players performed the tests in the following order: standing long jump (SLJ), countermovement jump (CMJ), 30-m sprint and the Zigzag COD test with a 10 min rest between tests. All tests were performed on an outdoor artificial turf 3G soccer field, except the CMJ test which was completed using a force platform on a rigid surface.

SLJ test. SLJ was performed according to a protocol previously described²⁴. Players performed two practice trials and then two test trials (CV=3.2%), separated by a 90-s rest. The distance (SLJ_{Distance}) was measured to the nearest 0.01 m with the best trial used for analysis.

CMJ test. CMJ was performed based on a protocol described previously²⁴. Players performed two submaximal trials and two maximum trials (CV=3.8%) with a 90-s rest between trials. The depth of the count CMJ was self-selected and subjects were asked to try and land close to the point of take-off as possible. Jumps were quantified using a Kistler 9286BA portable force platform (Kistler Group, Winterthur, Switzerland). Specifically, jump height (CMJ_{Height}) and peak power (CMJ_{Pmax}) were calculated using the software ForceDeck (Vald Performance, Newstead, QLD, Australia). The trial with the greatest CMJ_{Height} was used for analysis.

30-m sprint test. Two 30-m maximum sprints (CV=0.9%) with at least 5 min rest between attempts were performed. Each trial started from a split stance start position 0.3 m behind the starting line and the players were encouraged to perform each sprint as fast as possible. Sprint time was measured using timing gates from Microgate's WITTY System (Microgate, Bolzano, Italy) placed on the starting line and at each 10 m interval up to 30 m at a height of 1 m to obtain sprint split time measurements (T_{0-30m} , T_{0-10m} , T_{10-20m} , T_{20-30m}) and to calculate V_{sprint} (average velocity 0-20m).

Furthermore, a radar gun (Stalker ATS II; Applied Concepts, Richardson, TX, USA) was positioned 5 m behind the starting line at a height of 1 m and used to measure (recording frequency 47 Hz) instantaneous sprint velocity. The best sprint time was used for analysis.

****Table 2 near here****

Then mechanical outputs were computed using a recently established valid and reliable inverse dynamic field method based on spatiotemporal data²⁵. Specifically, raw velocity-time data obtained from the radar device were fitted by an exponential function and derived to compute

the net horizontal GRF. Individual linear force-velocity relationships were then extrapolated to calculate theoretical maximal force (F_0) (CV=1.7%), velocity (V_0) (CV=1.2%)²⁵ and the associated maximal power (P_{max}) (Equation 1) (CV=2.6%). The mechanical effectiveness of force application was computed as the maximum ratio of force (RF_{max}) (Equation 2) from horizontal (F_H) and vertical (F_V) GRF, and the decrease in ratio of force (D_{RF}) (CV=1.6%)²⁶ as velocity increases. Specifically, a greater RF_{max} means that the player can direct more force in the horizontal direction at the beginning of the sprint. Furthermore, a more negative D_{RF} means that RF has a greater decrement as the running velocity increase²⁶.

$$P_{max} = \frac{F_0 \cdot V_0}{4} \quad \text{[Equation 1]}$$

$$RF = \frac{F_H}{\sqrt{F_H^2 + F_V^2}} \cdot 100 \quad \text{[Equation 2]}$$

We applied this methodology because we wanted to compare these results with previous studies that used this approach. However, we assume that power is a scalar quantity, this means that power has no direction, only magnitude. Because movement occurs in a three-dimensional Euclidean space, mechanical work is collectively the result of three dimension²⁷.

****Table 3 near here****

Zigzag COD test. COD test was performed according to standard procedures described elsewhere⁶. This test consists of four 5-m sections marked with cones set at 100° angles requiring the players to decelerate and accelerate as fast as possible around each cone. Total time (COD_{Time}) was measured using timing gates (Microgate's WITTY System) placed at the start and finish lines. Two submaximal and two maximal attempts (CV=2.3%) were performed with a 5 min rest between trials. Players started from a split stance position with the leading foot placed 0.3-m behind the first pair of timing gates and instructed to complete the test as fast as possible, until crossing the second pair of timing gates, placed 20-m from the starting line. The best time trial was used for analysis. Then, to evaluate the efficacy of each player's ability

to utilize their linear speed during a specific COD task both average speed (COD_{Speed}) and $COD_{Deficit}$ were calculated from Equation 3 and 4 respectively.

$$COD_{Speed} = \frac{20}{COD_{Time}} \quad [\text{Equation 3}] \quad COD_{Deficit} = V_{Sprint} - COD_{Speed} \quad [\text{Equation 4}]$$

****Table 4 near here****

****Table 5 near here****

Statistical Analysis

Descriptive statistics were calculated using SPSS 21.0 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Data are presented as mean (SD). All data were log-transformed for intra-group pre-post differences analysis to reduce bias arising from non-uniformity errors of the data and then analyzed for practical significance using magnitude-based inferences (MBI)²⁸. The effect size (ES; 90% CI) was calculated using the SD. Between-group comparison was performed using an ANCOVA test in SPSS, using pre-test values as covariates in order to remove the possible initial bias, caused by the baseline level of each group in the assessed variables. Between-group ES were determined by converting the partial eta-squared from ANCOVA output to Cohen's *d*. Then a customized spreadsheet²⁹ was used to convert ANCOVA p-values and the effect statistic to MBI. Threshold values for Cohen's ES statistics were as follows: >0.2 small, >0.6 moderate, >1.2 large²⁸.

The chance that any difference was better/greater (i.e., greater than the smallest worthwhile change), [0.2 multiplied by the between-subject SD, based on Cohen's *d*], similar or worse/smaller than other group, was subsequently calculated³⁰. Quantitative chances of an effect being better or poorer were assessed qualitatively as follows: <1%, almost certainly not; 1–5%, very unlikely; 5–25%, unlikely; 25–75%, possible; 75–95%, likely; 95–99%, very likely; and >99%, almost certainly. If the chance of having better and poorer was >5%, the true

difference was considered unclear³⁰. If the chance was >75%, data were considered substantially different.

RESULTS

Tables 2 and 3 show the within-group pre-post differences and inferences on spatiotemporal and kinetic variables of sprint, respectively. Similarly, Tables 4 and 5 show the within-group pre-post differences and inferences on COD and horizontal and vertical jump variables, respectively. Within-group outcomes showed that all resisted training modalities experienced improvements in sprint performance (*small to moderate*), with HRS and CRS being the only RST groups showing moderate improvements for the T_{0-10m} , T_{10-20m} and T_{0-30m} split time intervals (Table 2). Furthermore, the same groups (HRS and CRS) were the only groups to show moderate improvement for kinetic variables (F_0 , P_{max} and RF_{max}) (Table 3). *Small to large* improvements were observed for COD performance (Table 4). Specifically, mostly *large* effects were observed for HRS, VRS and CRS (COD_{Time} , COD_{Speed} and $COD_{Deficit}$), with *small* effects observed for the URS (Table 4). Moreover, all groups, except URS, improved horizontal jump performance with the largest effect (*moderate*) observed for the HRS (Table 5). However, only the VRS (*small*) and CRS (*trivial to moderate*) improved vertical jump performance (Table 5). Figure 1, 2 and 3 show the between-group comparison on sprint, COD and horizontal and vertical jump variables, respectively. Between-group comparison outcomes, after removing the possible bias caused by the different initial level of each group, revealed that only VRS improved the sprint time (T_{0-10m} and T_{0-30m}) and P_{max} compared to HRS (*moderate*) (Figure 1) and COD performance compared to all groups (*moderate to large*) (Figure 2). Additionally, VRS enhanced the countermovement jump (CMJ) performance (*small to large*) compared to the other groups (Figure 3).

DISCUSSION

To our knowledge, this is the first study that compares the effects of a RST program using different types of equipment to provide horizontal and vertical resistance in soccer. Our results show that 8-weeks of different RST modalities improve sprint, COD as well as horizontal and vertical jump performance in youth soccer players. Also, all resistance groups (HRS, VRS and CRS) improved COD performance (*large*). Jump performance appeared to improve based on the direction of resistance applied with HRS showing *moderate* improvements for the SLJ and, VRS and CRS showing *small to moderate* improvements for CMJ performance. Additionally, after removing the bias caused by the different initial level, between-group comparison showed that VRS had the greatest improvement for sprint, COD and CMJ performance.

All training groups experienced *small to moderate* improvements in sprint performance with observed decreased T_{0-10m} , T_{10-20m} , T_{20-30m} and T_{0-30m} split times. Similarly, *small* improvements in V_{max} and V_0 were observed. These results are in agreement with previous studies that have explored the effect of RST using sleds on sprint performance^{6,7}. Furthermore, *small to moderate* improvements in F_0 and P_{max} were observed for all intervention groups. The effectiveness of force application, as determined by RF_{max} and D_{RF} , showed *small to moderate* increases in RF_{max} for all training groups. These findings could be explained by the high specificity of the RST program, independent of resistance modality; since sprinting is the best stimulus to improve sprint⁵. Overall, between-group comparisons (Figure 1) showed *unclear* outcomes, except for split time measurements (T_{0-10m} and T_{0-30m}) where VRS obtained *moderate* greater improvements in comparison to the HRS. Similarly, *moderate* greater increments in P_{max} were found in favour of URS, CRS and VRS compared to HRS. These findings are surprising considering the importance of horizontal propulsive forces, especially in the acceleration phase of sprint¹⁸. However, it must be acknowledged that the GRF are slightly different between sprinting starts from blocks and a split stance start. Moreover, although VRS provides an athlete a more vertical overload stimulus, sprinting is a horizontal-oriented task and thus, the player

also has to propel this overload forward with the rest of his body. Specifically, the orientation of GRF changes to a more vertical orientation from the acceleration to maximum speed phase (or as running velocity increase) in sprinting, being the impulse and resultant GRF diagonal when starts from blocks^{17,18} and almost vertical when starts in motion¹⁹. Thus, in soccer where most of sprints start with an initial velocity¹⁹, VRS might offer a more specific stimulus which could explain current findings. Also, VRS provides a greater overload stimulus than the same magnitude of load in the horizontal direction, due to the added effect of gravity. In fact, there was a greater increase in P_{max} with a moderate effect in favour of VRS compared to HRS, which might be caused by this effect.

****Figure 1 near here****

Both COD_{Time} and COD_{Speed} likely to almost certainly improved (*small to large*) for all training groups. These results are in agreement with previous findings of RST with sleds on COD performance^{6,7}. In fact, a recent study reported improvements in COD performance after 6 weeks of RST with COD using weighted vest⁸. The efficacy of each player's ability to utilize their linear speed during a specific COD task, evaluated by $COD_{Deficit}$, showed likely to almost certainly improved (*small to large*) for all groups. These outcomes could be explained by the improvement in COD technique and acceleration ability, as has been reported previously³. Between-groups comparison (Figure 2) revealed *moderate to large* improvements in COD_{Time} and COD_{Speed} in favour of VRS. Similar findings were found by Rodríguez-Osorio and co-authors⁸ who also showed improvements after 6 weeks of RST with COD using weighted vests. Moreover, CRS shows greater improvements in COD_{Time} and COD_{Speed} compared to URS. In addition, VRS showed *moderate to large* lower $COD_{Deficit}$ compared to HRS and URS. These improvements on COD performance observed in the VRS training group, may result from a higher eccentric demand on the extensor muscles during the braking phase due to the vertical-oriented resistance. Likewise, sprinting using weighted vest will impose a greater demand

during braking after the sprint than with horizontal loading, which might influence eccentric neuromuscular function with a very positive transference to COD ability. However, braking technique or distance was not controlled for in this study.

****Figure 2 near here****

Concerning jump ability, all training groups, except URS, had *small to moderate* improvements in $SLJ_{Distance}$. However, between-group comparison (Figure 1) only revealed *small to large* greater improvements in favour of CRS compared to URS in $SLJ_{Distance}$. These results could be explained by the additional mechanical overload experienced by HRS, VRS and CRS. Additionally, VRS showed *small* improvements in CMJ_{Height} . Between-group comparison revealed *moderate* greater improvements in favour of CRS compared to VRS and HRS in CMJ_{Pmax} . However, only VRS showed greater improvements in CMJ_{Height} in comparison with HRS (*small*), CRS (*large*) and URS (*large*), which might be caused by the specific vertical overload for VRS, since vertical GRF is a key kinetic component for vertical explosive actions (Figure 3).

****Figure 3 near here****

Briefly, the results of this study indicate that the combination of RST with or without COD, independently of the direction of loading, is a good option for improving sprint and COD performance in youth soccer players. However, VRS may be a better training stimulus based on the observed improvements in sprint, COD and jumping performance.

The main limitations are: (1) the calculation method used to compute the kinetic variables in sprinting only considers the horizontal components of force and power, (2) the high experimental drop-out during the intervention period that reduced the sample of each group, and (3) the direction of horizontal force in COD is not specific and horizontally oriented relative to the turn. Future studies are needed in order to explore the adaptations provoked by the

training methods described in the current study, because there is no previous research that includes alternative equipment to a sled, neither one that compares the effect of different RST modalities with vertical and horizontal load. Moreover, the training dose required to enhance such performances using these training modalities should be established.

PRACTICAL APPLICATIONS

This study provides important information about the effects of horizontal and vertically oriented resistance in RST on sprint, COD and jump performance in youth soccer players. Current findings may assist coaches and trainers in the selection of RST training intervention to target sprint and COD performance. Our results show that vertically oriented RST with loads that range 10-20% BM is the best option for improving linear sprinting and COD performance with an additional positive effect on jumping performance in youth soccer players. Nevertheless, horizontally oriented or their combination RST are both good options for improving linear sprinting and COD ability.

CONCLUSIONS

The application of both horizontal and vertical resistance in RST training improve sprint and COD performance. A vertically oriented load (weighted vest) promoted the greatest improvements on sprint and COD ability and had a positive additional effect on vertical jump ability.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank 1080 Motion AB for providing the 1080 Sprint™ device for this project. Likewise, we would like to acknowledge the coaching staff and players from the teams involved in the research for their collaboration. In addition, we would like to thank the International Doctoral School of the Catholic University of Murcia (EIDUCAM) for the predoctoral scholarship.

REFERENCES

1. Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sport Sci.* 2012;30(7):625-631.
2. Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P. Deceleration and turning movements performed during FA Premier League soccer matches. In: Reilly T, Korkusuz F, eds. *Science and football VI: the Proceedings of the Sixth World Congress on Science and Football.* London: Routledge; 2009:174-181.
3. Brughelli M, Cronin J, Levin G, Chaouachi A. Understanding change of direction ability in sport. *Sports Med.* 2008;38(12):1045-1063.
4. MacDougall D, Sale D. Continuous vs interval training: a review for the athlete and the coach. *Can J Appl Sports Sci.* 1981;6(2):93-97.
5. Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, Martínez-Rodríguez A. The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018.
6. Gil S, Barroso R, Crivoi do Carmo E, et al. Effects of resisted sprint training on sprinting ability and change of direction speed in professional soccer players. *J Sport Sci.* 2018;36(17):1923-1929.
7. McMorrow BJ, Ditroilo M, Egan B. Effect of heavy resisted sled sprint training during the competitive season on sprint and change-of-direction performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019:1-25.

8. Rodríguez-Osorio D, Gonzalo-Skok O, Pareja-Blanco F. Effects of resisted sprint with changes of direction training through several relative loads on physical performance in soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019:1-20.
9. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JL, Linthorne NP. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3):890-897.
10. Carlos-Vivas J, Marín-Cascales E, Freitas TT, Perez-Gomez J, Alcaraz PE. Force-velocity-power profiling during weighted vest sprinting in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018:1-28.
11. Cronin J, Hansen K, Kawamori N, McNair P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech.* 2008;7(2):160-172.
12. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med.* 2016;46(10):1419-1449.
13. Dello Iacono A, Martone D, Milic M, Padulo J. Vertical-vs. horizontal-oriented drop jump training: chronic effects on explosive performances of elite handball players. *J Strength Cond Res.* 2017;31(4):921-931.
14. Loturco I, Contreras B, Kobal R, et al. Vertically and horizontally directed muscle power exercises: Relationships with top-level sprint performance. *PloS one.* 2018;13(7):e0201475.
15. Arcos AL, Yanci J, Mendiguchia J, Salinero JJ, Brughelli M, Castagna C. Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular

- performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(3):480-488.
16. Morin J-B, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour J-R. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(11):3921-3930.
17. Nagahara R, Mizutani M, Matsuo A, Kanehisa H, Fukunaga T. Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint. *J Appl Biomech.* 2017:1-20.
18. 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.* Oct 2015;25(5):583-594.
19. Haugen TA, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(3):432-441.
20. Colyer SL, Nagahara R, Takai Y, Salo AI. How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: Waveform analysis of ground reaction forces. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(12):2527-2535.
21. Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol.* 2000;89(5):1991-1999.
22. Loturco I, Pereira LA, Abad CCC, et al. Vertical and horizontal jump tests are strongly associated with competitive performance in 100-m dash events. *J Strength Cond Res.* 2015;29(7):1966-1971.

23. Rodriguez-Marroyo JA, Antoñan C. Validity of the session rating of perceived exertion for monitoring exercise demands in youth soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(3):404-407.
24. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):551-555.
25. Samozino P, Rabita G, Dorel S, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports.* Jun 2016;26(6):648-658.
26. Morin JB, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(2):267-272.
27. van der Kruk E, van der Helm F, Veeger H, Schwab A. Power in sports: A literature review on the application, assumptions, and terminology of mechanical power in sport research. *J Biomech.* 2018.
28. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3.
29. Hopkins WG. A spreadsheet for deriving a confidence interval, mechanistic inference and clinical inference from a P value. *Sportscience.* 2007;11:16-21.
30. Suarez-Arrones L, Arenas C, López G, Requena B, Terrill O, Mendez-Villanueva A. Positional differences in match running performance and physical collisions in men rugby sevens. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(2):316-323.

Table 1. Resisted sprint training program.

Week	Session Type	Specific Work					Load	
		HRS	VRS	CRS	URS	Sets x (reps x distance/reps recovery)/sets recovery	HRS/VRS/CRS	URS
1	Sprint	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (2x20 m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	10% BM	BM
2	COD	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	10% BM	BM
3	COD	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
4	Sprint	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM	BM
5	COD	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	20% BM	BM
6	Sprint	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	20% BM	BM
7	COD	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
8	Sprint	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM	BM
9	Sprint	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
10	COD	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM	BM
11	COD	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	20% BM	BM
12	Sprint	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	20% BM	BM
13	Sprint	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (3x15m/60'')/3' + 1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	15% BM	BM
14	COD	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (5x5m/60'')/3' + 1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	15% BM	BM
15	Sprint	1080 Sprint	WV	WV	None	1 x (2x20m/60'')/3' + 1 x (2x30m/60'')	10% BM	BM
16	COD	1080 Sprint	WV	1080 Sprint	None	1 x (4x10m/60'')/3' + 1 x (3x15m/60'')	10% BM	BM

Abbreviations: VRS = vertical resisted sprint; HRS = horizontal resisted sprint; CRS = combined resisted sprint; URS = unresisted sprint; COD = change-of-direction session; WV = weighted vest; BM = body mass.

Table 2. Within-group pre-post differences and inferences on spatiotemporal variables of sprint.

	Training Group		Post-Test Mean (SD)		Standardized differences (90% CI)		Chances (%)		Inferences	P
	Pre-Test Mean (SD)	Post-Test Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)						
T_{0-10m}	HRS	2.11 (0.03)	2.08 (0.02)	-0.91 ± 0.31	0/0/100	Moderate**** (positive)	<0.001			
	VRS	2.10 (0.07)	2.07 (0.06)	-0.43 ± 0.17	0/8/92	Small** (positive)	0.001			
	CRS	2.11 (0.03)	2.08 (0.03)	-1.00 ± 0.32	0/0/100	Moderate**** (positive)	<0.001			
	URS	2.10 (0.07)	2.06 (0.07)	-0.51 ± 0.15	0/0/100	Small**** (positive)	<0.001			
T_{10-20m}	HRS	1.29 (0.02)	1.27 (0.02)	-0.74 ± 0.34	0/1/99	Moderate**** (positive)	0.002			
	VRS	1.27 (0.05)	1.25 (0.05)	-0.33 ± 0.12	0/3/97	Small**** (positive)	<0.001			
	CRS	1.28 (0.03)	1.26 (0.03)	-0.64 ± 0.32	0/1/99	Moderate**** (positive)	0.004			
	URS	1.27 (0.06)	1.25 (0.05)	-0.33 ± 0.15	0/8/92	Small** (positive)	0.003			
T_{20-30m}	HRS	1.21 (0.03)	1.20 (0.03)	-0.45 ± 0.36	0/11/88	Small** (positive)	0.043			
	VRS	1.19 (0.05)	1.17 (0.05)	-0.34 ± 0.11	0/3/97	Small**** (positive)	<0.002			
	CRS	1.20 (0.03)	1.19 (0.03)	-0.50 ± 0.35	0/8/92	Small** (positive)	0.028			
	URS	1.19 (0.06)	1.17 (0.06)	-0.31 ± 0.14	0/10/90	Small** (positive)	0.003			
T_{0-30m}	HRS	4.61 (0.07)	4.55 (0.07)	-0.76 ± 0.32	0/0/100	Moderate**** (positive)	0.001			
	VRS	4.55 (0.17)	4.49 (0.16)	-0.37 ± 0.11	0/1/99	Small**** (positive)	<0.001			
	CRS	4.59 (0.09)	4.52 (0.08)	-0.73 ± 0.32	0/1/99	Moderate**** (positive)	0.002			
	URS	4.56 (0.19)	4.49 (0.17)	-0.39 ± 0.14	0/2/98	Small**** (positive)	<0.001			
V_{max}	HRS	8.36 (0.21)	8.47 (0.18)	0.48 ± 0.33	92/8/0	Small**** (positive)	0.025			
	VRS	8.56 (0.41)	8.68 (0.39)	0.26 ± 0.12	82/18/0	Small**** (positive)	0.003			
	CRS	8.43 (0.23)	8.56 (0.22)	0.52 ± 0.35	94/6/0	Small**** (positive)	0.022			
	URS	8.51 (0.44)	8.65 (0.41)	0.28 ± 0.14	84/16/0	Small**** (positive)	0.004			
V₀	HRS	8.78 (0.25)	8.90 (0.23)	0.48 ± 0.34	92/8/0	Small**** (positive)	0.027			
	VRS	9.03 (0.49)	9.17 (0.49)	0.26 ± 0.12	77/23/0	Small**** (positive)	0.006			
	CRS	8.86 (0.28)	9.01 (0.27)	0.49 ± 0.36	92/8/0	Small**** (positive)	0.032			
	URS	8.96 (0.53)	9.13 (0.50)	0.30 ± 0.13	91/9/0	Small**** (positive)	0.002			

Abbreviations: T_{0-10m} = time from starting point to 10m in s; T_{10-20m} = time from 10m to 20m in s; T_{20-30m} = time from 20m to 30m in s; T_{0-30m} = full sprint time in s; V_{max} = maximum velocity in m·s⁻¹; V₀ = theoretical maximum velocity in m·s⁻¹; HRS = horizontal resisted sprint; URS = unresisted sprint; CRS = combined resisted sprint; VRS = vertical resisted sprint; SD = standard deviation; CI = confidence interval; Chances = percentage chance of having greater/similar/lower values as a percentage; P = p-value. Inferences are small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Qualitative assessment: *possibly (75–95%), likely (95–99%) and almost certainly (>99%). Positive, trivial and negative indicators refer to the effect on performance of the change between post- and pre-values for each specific variable.

Table 3. Within-group pre-post differences and inferences on kinetic variables of sprint.

	Training Group	Pre-Test		Post-Test		Standardized differences		Chances (%)	Inferences	P
		Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	(90% CI)				
F₀	HRS	7.79 (0.18)	7.95 (0.20)	0.84 ± 0.44	99/1/0	Moderate*** (positive)	0.006			
	VRS	7.69 (0.40)	7.95 (0.39)	0.57 ± 0.29	98/2/0	Small*** (positive)	0.005			
	CRS	7.66 (0.21)	7.94 (0.18)	1.20 ± 0.35	100/0/0	Moderate**** (positive)	<0.001			
	URS	7.78 (0.36)	7.98 (0.34)	0.51 ± 0.18	100/0/0	Small**** (positive)	<0.001			
P_{max}	HRS	17.1 (0.74)	17.7 (0.67)	0.72 ± 0.38	98/2/0	Moderate*** (positive)	0.005			
	VRS	17.4 (1.71)	18.2 (1.58)	0.45 ± 0.15	99/1/0	Small*** (positive)	<0.001			
	CRS	17.0 (0.85)	17.9 (0.75)	0.97 ± 0.31	100/0/0	Moderate**** (positive)	<0.001			
	URS	17.4 (1.77)	18.2 (1.66)	0.41 ± 0.14	99/1/0	Small*** (positive)	<0.001			
RF_{max}	HRS	44.9 (0.86)	45.6 (0.65)	0.76 ± 0.41	98/2/0	Moderate*** (positive)	0.006			
	VRS	45.2 (1.66)	46.0 (1.67)	0.45 ± 0.18	98/2/0	Small*** (positive)	0.001			
	CRS	44.9 (0.90)	45.8 (0.84)	0.94 ± 0.42	100/0/0	Moderate**** (positive)	0.002			
	URS	45.3 (1.92)	46.3 (1.77)	0.44 ± 0.17	99/1/0	Small*** (positive)	<0.001			
D_{RF}	HRS	-8.29 (0.25)	-8.30 (0.30)	-0.02 ± 0.43	21/53/26	Unclear	0.94			
	VRS	-7.94 (0.35)	-8.05 (0.44)	-0.27 ± 0.41	3/35/62	Small* (negative)	0.264			
	CRS	-8.07 (0.27)	-8.19 (0.28)	-0.41 ± 0.45	2/20/82	Small** (negative)	0.134			
	URS	-8.10 (0.29)	-8.11 (0.32)	-0.04 ± 0.24	5/81/13	Unclear	0.781			

Abbreviations: F₀ = theoretical maximum horizontal force in N·kg⁻¹; P_{max} = maximum horizontal power output in W·kg⁻¹; RF_{max} = maximum ratio of forces, as a percentage; D_{RF} = decrease in ratio of forces, as a percentage; HRS = horizontal resisted sprint; URS = unresisted sprint; CRS = combined resisted sprint; VRS = vertical resisted sprint; SD = standard deviation; CI = confidence interval; Chances = percentage chance of having greater/similar/lower values as a percentage; P = p-value. Inferences are small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Qualitative assessment: *possibly (25–75%), likely (75–95%), very likely (95–99%) and almost certainly (>99%). Positive, trivial and negative indicators refer to the effect on performance of the change between post- and pre-values for each specific variable.

Table 4. Within-group pre-post differences and inferences on change-of-direction ability variables.

	Training Group	Pre-Test		Post-Test		Standardized differences		Chances (%)	Inferences	P
		Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	(90% CI)				
COD_{Time}	HRS	4.97 (0.20)	4.73 (0.25)	-1.22 ± 0.47	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001			
	VRS	4.90 (0.25)	4.52 (0.21)	-1.47 ± 0.37	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001			
	CRS	4.98 (0.23)	4.65 (0.18)	-1.39 ± 0.41	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001			
	URS	4.90 (0.28)	4.74 (0.25)	-0.52 ± 0.39	0/0/100	Small** (positive)	0.035			
COD_{Speed}	HRS	4.03 (0.16)	4.24 (0.21)	1.22 ± 0.47	100/0/0	Large**** (positive)	<0.001			
	VRS	4.09 (0.21)	4.44 (0.21)	1.47 ± 0.37	100/0/0	Large**** (positive)	<0.001			
	CRS	4.02 (0.18)	4.30 (0.16)	1.39 ± 0.41	100/0/0	Large**** (positive)	<0.001			
	URS	4.10 (0.23)	4.23 (0.23)	0.52 ± 0.39	100/0/0	Small** (positive)	0.035			
COD_{Deficit}	HRS	1.86 (0.14)	1.65 (0.24)	-1.67 ± 0.67	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001			
	VRS	1.86 (0.31)	1.51 (0.26)	-1.13 ± 0.25	0/0/100	Moderate**** (positive)	<0.001			
	CRS	1.88 (0.19)	1.60 (0.17)	-1.44 ± 0.39	0/0/100	Large**** (positive)	<0.001			
	URS	1.85 (0.24)	1.72 (0.23)	-0.53 ± 0.40	0/0/100	Small** (positive)	0.037			

Abbreviations: COD_{Time} = change-of-direction test time in s; COD_{Speed} = change-of-direction test average speed in m·s⁻¹; COD_{Deficit} = change-of-direction speed deficit in m·s⁻¹; HRS = horizontal resisted sprint; URS = unresisted sprint; VRS = vertical resisted sprint; CRS = combined resisted sprint; VRS = vertical resisted sprint; SD = standard deviation; CI = confidence interval; Chances = percentage chance of having greater/similar/lower values as a percentage; P = p-value. Inferences are small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Qualitative assessment: *possibly (25–75%), **likely (75–95%), ***very likely (95–99%) and ****almost certainly (>99%). Positive, trivial and negative indicators refer to the effect on performance of the change between post- and pre-values for each specific variable.

Table 5. Within-group pre-post differences and inferences on horizontal and vertical jump variables.

	Training Group	Pre-Test		Post-Test		Standardized differences (90% CI)	Chances (%)	Inferences	P
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD				
SLJ_{Distance}	HRS	2.12 (0.13)	2.22 (0.13)	2.22 (0.13)	2.22 (0.13)	0.63 ± 0.47	93/6/0	Moderate** (positive)	0.035
	VRS	2.26 (0.17)	2.31 (0.20)	2.31 (0.20)	2.31 (0.20)	0.29 ± 0.24	74/26/0	Small* (positive)	0.060
	CRS	2.14 (0.21)	2.23 (0.18)	2.23 (0.18)	2.23 (0.18)	0.39 ± 0.24	91/9/0	Small** (positive)	0.015
	URS	2.17 (0.14)	2.20 (0.20)	2.20 (0.20)	2.20 (0.20)	0.14 ± 0.41	40/52/8	Unclear	0.542
CMJ_{Pmax}	HRS	48.9 (4.15)	50.5 (4.69)	50.5 (4.69)	50.5 (4.69)	0.36 ± 0.48	68/26/6	Unclear	0.298
	VRS	51.5 (7.00)	53.8 (6.03)	53.8 (6.03)	53.8 (6.03)	0.30 ± 0.15	87/13/0	Small* (positive)	0.005
	CRS	48.4 (4.62)	52.7 (6.69)	52.7 (6.69)	52.7 (6.69)	0.81 ± 0.37	99/1/0	Moderate*** (positive)	0.002
	URS	50.2 (7.73)	53.1 (6.05)	53.1 (6.05)	53.1 (6.05)	0.38 ± 0.26	88/12/0	Small** (positive)	0.023
CMJ_{Height}	HRS	35.2 (3.83)	35.4 (4.71)	35.4 (4.71)	35.4 (4.71)	0.02 ± 0.40	22/61/17	Unclear	0.922
	VRS	37.4 (8.42)	40.0 (7.59)	40.0 (7.59)	40.0 (7.59)	0.31 ± 0.09	97/3/0	Small*** (positive)	<0.001
	CRS	35.4 (4.30)	35.8 (4.12)	35.8 (4.12)	35.8 (4.12)	0.11 ± 0.28	28/68/4	Trivial* (trivial)	0.499
	URS	36.6 (4.39)	35.8 (5.11)	35.8 (5.11)	35.8 (5.11)	-0.20 ± 0.38	4/47/49	Trivial* (negative)	0.371

Abbreviations: SLJ_{Distance} = standing long jump distance in m; CMJ_{Pmax} = maximum power production reached in countermovement jump in W·kg⁻¹; CMJ_{Height} = maximum jump height reached in countermovement jump in cm; HRS = horizontal resisted sprint; URS = unresisted sprint; CRS = combined resisted sprint; VRS = vertical resisted sprint; SD = standard deviation; CI = confidence interval; Chances = percentage chance of having greater/similar/lower values as a percentage; P = p-value. Inferences are small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Qualitative assessment: *possibly (25–75%), **likely (75–95%), ***very likely (95–99%) and ****almost certainly (>99%). Positive, trivial and negative indicators refer to the effect on performance of the change between post- and pre-values for each specific variable.

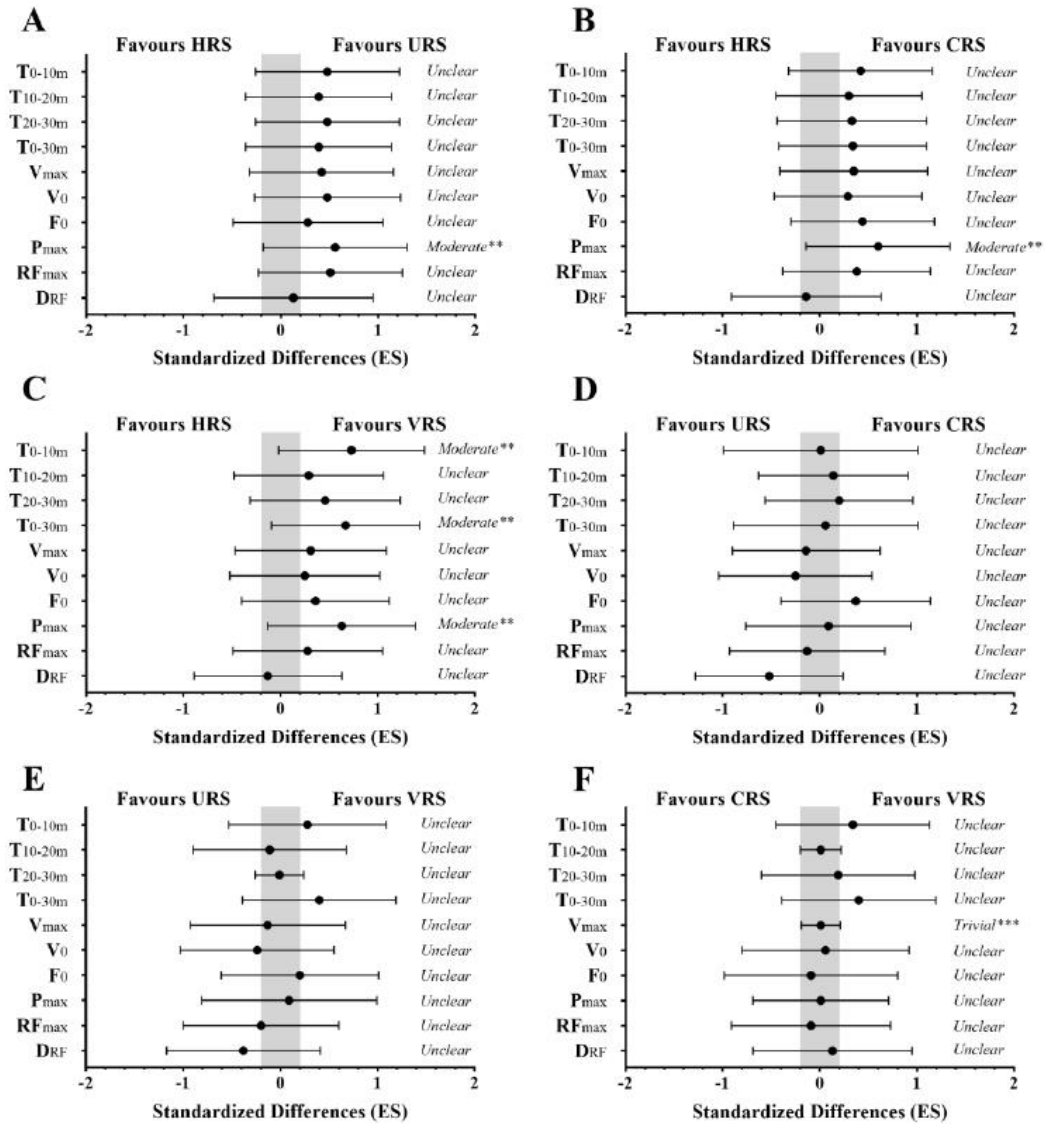


Figure 1. Between-group comparison of sprint performance.

Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Abbreviations: T_{0-10m} = time from starting point to 10m (s); T_{10-20m} = time from 10m to 20m (s); T_{20-30m} = time from 20m to 30m (s); T_{0-30m} = full sprint time (s); V_{max} = maximum velocity (m·s⁻¹); V₀ = theoretical maximum velocity (m·s⁻¹); F₀ = theoretical maximum horizontal force in (N·kg⁻¹); P_{max} = maximum horizontal power output in (W·kg⁻¹); RF_{max} = maximum ratio of forces (%); DRF = decrease in ratio of forces (%); HRS = horizontal resisted sprint; URS = unresisted sprint; CRS = combined resisted sprint; VRS = vertical resisted sprint. Effect size (ES). Inferences are small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Qualitative assessment: *possibly (25–75%), likely (75–95%), very likely (95–99%) and almost certainly (>99%).

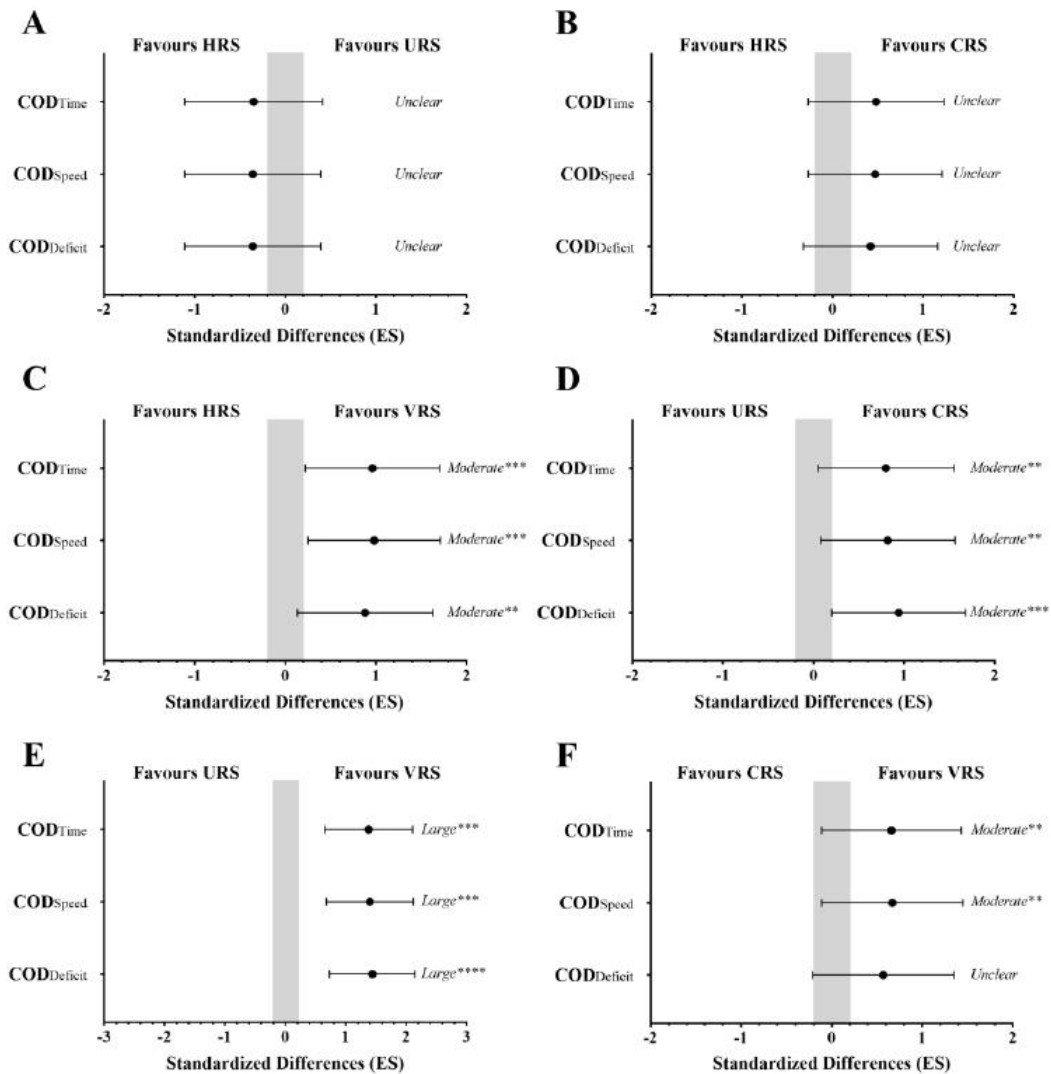


Figure 2. Between-group comparison of change-of-direction performance.

Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Abbreviations: COD_{Time} = change-of-direction test time (s); COD_{Speed} = change-of-direction test average speed (m·s⁻¹); COD_{Deficit} = change-of-direction speed deficit in (m·s⁻¹); HRS = horizontal resisted sprint; URS = unresisted sprint; CRS = combined resisted sprint; VRS = vertical resisted sprint. Effect size (ES). Inferences are small (>0.2), moderate (>0.6) moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Qualitative assessment: *possibly (25–75%), **likely (75–95%), ***very likely (95–99%) and ****almost certainly (>99%).

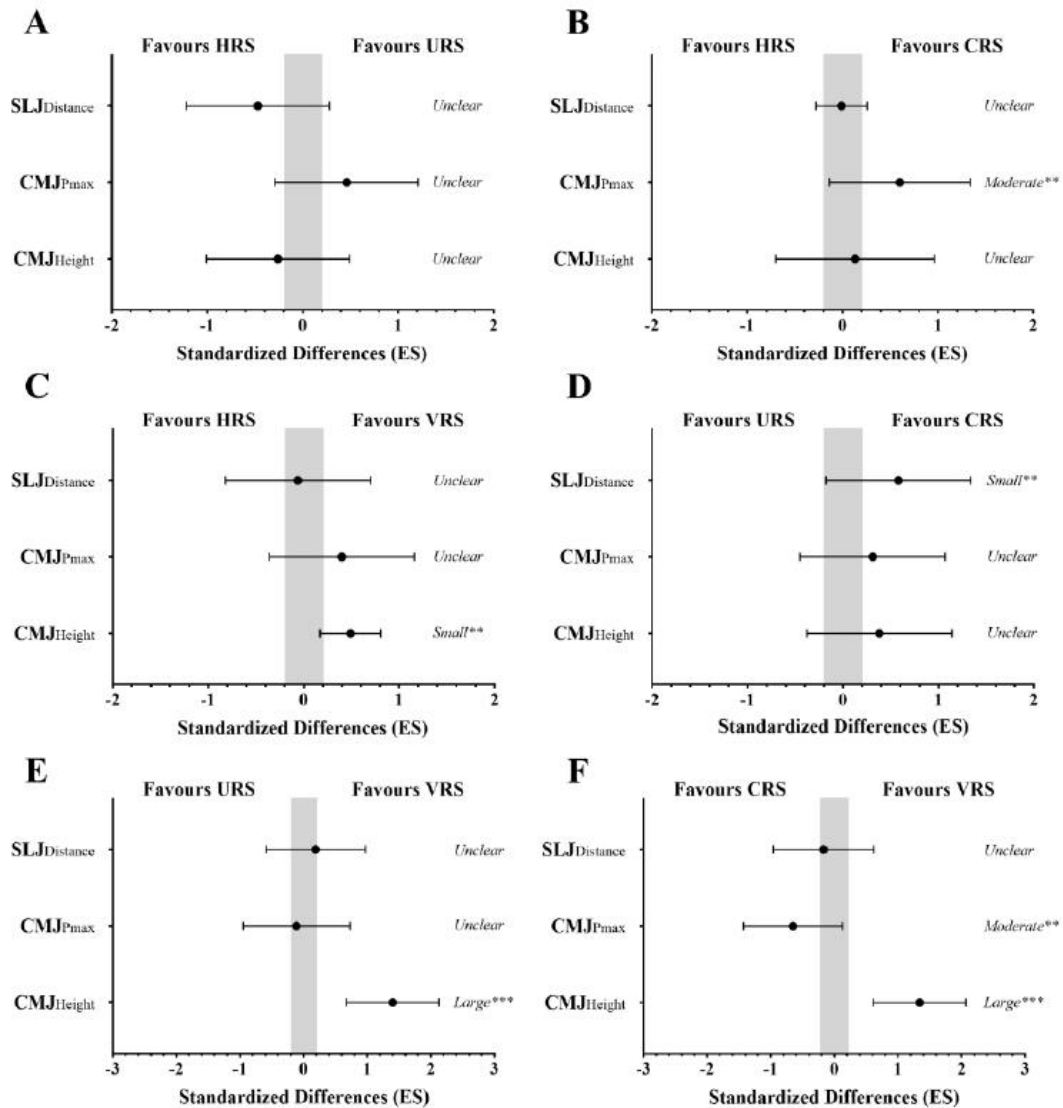


Figure 3. Between-group comparison of horizontal and vertical jump performance.

Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 90% confidence intervals. Abbreviations: SLJ_{Distance} = standing long jump distance (m); CMJ_{pmax} = maximum power production reached in countermovement jump ($W \cdot kg^{-1}$); CMJ_{Height} = maximum jump height reached in countermovement jump (cm); HRS = horizontal resisted sprint; URS = unresisted sprint; CRS = combined resisted sprint; VRS = vertical resisted sprint. Effect size (ES). Inferences are small (>0.2), moderate (>0.6), moderate, large (>1.2), very large (>2.0) and nearly perfect (>4.0). Qualitative assessment: *possibly (25–75%), **likely (75–95%), ***very likely (95–99%) and ****almost certainly ($>99\%$).

