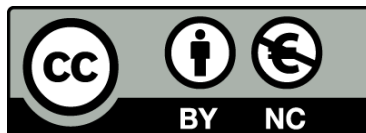




UNIVERSITAT_{DE}
BARCELONA

El entrenamiento de súper velocidad para la mejora de la velocidad máxima de desplazamiento mediante sistemas de arrastre

Pau Cecília Gallego



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0. Spain License.**

TESIS DOCTORAL

El entrenamiento de súper velocidad para la mejora de la velocidad máxima de desplazamiento mediante sistemas de arrastre

Pau Cecília Gallego

2023



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

inefc
Barcelona



Generalitat
de Catalunya

TESIS DOCTORAL

El entrenamiento de súper velocidad para la mejora de la velocidad máxima de desplazamiento mediante sistemas de arrastre

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la

Universitat de Barcelona

Programa de Doctorado en Actividad física, educación física y deporte

Autor

Pau Cecília Gallego

Directores

Josep Maria Padullés Riu

Jesús Álvarez Herms

Tutor

Josep Maria Padullés Riu

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

inefc
Barcelona



Primera parte

Dedicatorias:

Esta tesis doctoral, fruto de un largo camino, a veces exitoso y reconfortante, a veces tortuoso y desesperante, va dedicada especialmente a:

Mi mujer, Belén, y mi hija, Clàudia.

Mi familia, especialmente a mi madre y mis hermanas.

A mis directores de tesis, Jesús y Josep María, y al “director metodológico”, Vicente.

A todo el equipo de dirección, administración y profesorado de EUSES, en especial de EUSES Terres de l’Ebre.

A todo el personal del Departamento de Gestión académica – Investigación y doctorado del INEFC Centro de Barcelona, así como a los miembros de las diferentes Comisiones de seguimiento y evaluación del programa de doctorado del INEFC Barcelona – Universitat de Barcelona.

A todos los atletas y alumnos con los que, en algún momento, he compartido camino. Mi mayor alegría sería haber podido ser, en algún momento, significativo en su proceso de enseñanza – aprendizaje.

A un gran deporte, el atletismo, y a todas las personas que me ha facilitado conocer y las experiencias que me ha permitido vivir.

Y a todos aquellos que me gustaría que hubieran podido disfrutar de este día, pero ya no nos acompañan, por encima de todos, mi padre.

Agradecimientos:

Una vez llegados a este punto, uno no puede más que echar la vista atrás y recordar el pasado. En este viaje retrospectivo van apareciendo muchas experiencias, diversos sentimientos y emociones, pero, sobre todo, una gran cantidad de personas, que, en mayor o menor medida, han aportado su grano de arena para poder llegar a esta meta, en términos de ciclistas, “volante”, pues no es más que un paso más en este sendero sin fin del conocimiento y la ciencia. Eso sí, un paso importante, como otros que he dado en esta vida, tanto desde el punto de vista personal y social, como del académico y profesional. Tampoco lo considero un punto de inflexión, pues quizás ese punto debería situarse en el momento en que decidí participar en esta “carrera por etapas”, en este “Tour” particular, con sus subidas y bajadas, con sus momentos de disfrute y “victorias de etapa” y sus “pájaras” y caídas. Pero, sí que es un buen “avituallamiento”, para ser consciente de donde se ha llegado y tomar fuerzas para seguir adelante, revitalizado, para seguir creciendo y seguir aportando a este maravilloso mundo de las Ciencias del Deporte y de la Actividad Física.

Entrando ya de lleno en las personas, es necesario también recordarlas y valorarlas, pues con todas y cada una de ellas es como se ha ido labrando este recorrido vital que es una tesis doctoral. Desde una percepción holística, ningún eslabón de la cadena puede ser más débil que los otros para garantizar la fortaleza global del sistema, y aquí es donde deben ponerse de relieve esas, aparentemente insignificantes en algún momento, aportaciones de las personas que contigo se relacionan y que permiten tomar las decisiones adecuadas para seguir evolucionando a estados superiores. Muchas gracias a todos.

Mis agradecimientos también a todas aquellas personas del Centro de Tecnificación Deportiva Terres de l’Ebre, del Ayuntamiento de Amposta y de la Unió Atlètica Montsià, que han colaborado de manera totalmente desinteresada en la parte práctica de la experimentación de esta investigación. Gracias Ignasi y Enric por vuestra colaboración. Gracias Andrea, Anna, Ramón, Àxel, Júlia, Toni, María, Malena y Joel por vuestra confianza y por ponerlos a mi disposición, sin saber casi qué hacíamos y hacia donde íbamos.

Josep María, gracias por tus conocimientos, por tus aportaciones y tu guía, desde una de las personas que mejor unen teoría y práctica en el mundo del atletismo. Un lujo y un placer poder haber contado contigo. Pocas personas han aportado tanto y con tanta generosidad y humildad como tú a nuestro deporte y al análisis de su rendimiento. Gracias

también por tu predisposición y ayuda en todos los procedimientos administrativos que acompañan al desarrollo de una tesis doctoral.

Jesús, nuestra historia en común empieza mucho más allá de esta tesis doctoral. Siendo tú muy joven y yo un poco menos, tuve la oportunidad de guiar tus pasos atléticos como, en ese momento, lanzador. Años después ya, desde una recíproca confianza, pudimos ayudarnos en nuestras tareas profesionales comunes, especialmente yo desde la experiencia como entrenador. En esos años de colaboración, pude descubrir un gran vacío en mi desempeño, el uso de la ciencia en el día a día, aplicada a mis clases y sesiones de entrenamiento. Esa sensación de vacío, unida al de admiración al ir descubriendo tu trayectoria académica, fue quizás el detonante real de tomar la decisión de ir más allá, de querer crecer y evolucionar, para ser cada día más crítico y para poder aportar una nueva visión al mundo del entrenamiento. Gracias por abrirme los ojos, por plantearme retos impensables y por hacerme salir continuamente de esa zona donde nos sentimos confortables, donde creemos que sabemos algo y donde nos sentimos capaces. Nada más lejos de la realidad. Eres una persona muy avanzada en nuestro entorno, a veces tan avanzada que los que no son capaces de ver lo que puedes aportar, te intentan apartar, para no perjudicar su *status quo*. Por suerte, no ha sido nunca tu objetivo, a pesar de las dificultades. Desde la amistad, sigue siendo como eres, los que te conocemos te lo agradeceremos infinitamente.

Aunque oficialmente no hayas sido mi tutor, gracias, Vicente, por todo lo que has sumado y todo lo que me has aportado. Has sido mi “director metodológico”, en una tarea que sin ti no habría podido conseguir. Tu conocimiento sobre los procesos de recogida, análisis e interpretación de datos están al alcance de muy pocos y, para mí, ha sido un auténtico privilegio poder tenerte en mi equipo. Pero gracias también por tu claridad, por tu sentido común y por esos consejos que siempre acababan con “pero la decisión es tuya”. Me has ayudado a crecer en criterio para tomar esas decisiones de una manera que no puedo cuantificar ni tampoco agradecer en su justa medida. Espero que este viaje a mi lado también te haya aportado, me haría sentir un poco menos en deuda contigo.

Gracias también a ti, Adrián, por iniciarme en ese complejo mundo de la genética, por dejarme ser partícipe de vuestra metodología y análisis de la realidad del cuerpo humano y por tus consejos y aportaciones en cada uno de los trabajos que se han desprendido de esta tesis doctoral.

En este apartado de los agradecimientos quisiera incluir también a personas que han sido especialmente importantes en mi vida, quizás más alejadas del proceso de la tesis, pero

que en su momento fueron decisivas y me iluminaron y empujaron, algunos sin saberlo, a llegar a ser lo que soy y a dedicarme a este mundo de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Gracias Josep Benito, Antoni Costes, Joan Maria Roig, Pere Gómez (DEP), Álvaro Callau, Miquel Consegal (DEP), Ricard Llorens, Marc Roig, Marc Madruga, y disculpas a los que me haya podido olvidar, que seguro que serán algunos.

Llegados a este punto de los agradecimientos, me será muy difícil no dejarme también a alguien, por lo que entraré poco en detalles, esperando que todos y todas se sientan incluidos e incluidas y me perdonen mi posible amnesia. Es el momento de agradecer a aquellas personas que me conocen desde mi perspectiva personal, social e incluso, harto difícil, emocional.

La familia, esa que “te toca”. Pues en mi caso, he tenido mucha suerte, pues “me ha tocado” una gran familia, tanto cuantitativa como cualitativamente, en términos más académicos. Gracias a mis tíos, primos, padrinos por mi infancia, por vuestras experiencias, por los momentos compartidos, por conformarme como soy y por ser parte indisoluble de mí. De cada uno de vosotros podría explicar mil anécdotas y momentos que me han marcado en mi vida. Gracias a mis abuelos y abuelas, todos ellos ya ausentes, algunos desde hace muchísimos años, demasiados, sin tiempo a poder habernos conocido más. Pero mis recuerdos de infancia con todos ellos son magníficos e imborrables. Espero que estén hoy orgullosos de mí, aunque creo que no les hubiera sido necesario, su amor era incondicional. Gracias a mis dos hermanas, Susanna y Meri, por quererme y también soportarme durante todas nuestras vidas. No somos especialmente efusivos en nuestras relaciones, pero sí altamente emocionales los tres y, esa emocionalidad, nos ha conectado siempre, sabemos quién somos y como somos, nos respetamos y nos apoyamos. Nuestra historia tiene muchos momentos felices, pero, desgraciadamente uno muy triste que nos marcó, nos sigue acompañando y nos acompañará siempre, acontecimiento que cada uno hemos capeado como hemos podido y sabido.

“Mama” y “Papa”, gracias. Gracias por la vida, por el cariño, por el apoyo, en definitiva, por todo y por hacer posible mi existencia y darme la educación, los conocimientos necesarios para vivir (o sobrevivir en algunos momentos) y por estar siempre a mi lado. No sé cómo hubiera sido mi vida sin ti en mis primeros dieciocho años, “Papa”, pero lo más frustrante es que no sé cómo hubiera sido contigo en los siguientes treinta. Nuestra imposible evolución vital padre – hijo siempre será un vacío en mi vida, en mis pensamientos, en mis emociones. Algunas veces, no lo podemos negar, se nos hace difícil recordar los momentos vividos. Desde la perspectiva del tiempo, nunca me he planteado

si tus enseñanzas y nuestra relación hubieran podido ser mejor o peor y, sobre todo, siempre he tenido claro que quisiste lo mejor para mí y lo hiciste lo mejor que sabías en ese momento y en esas circunstancias. Gracias “Papa”. “Mama”, gracias por todo lo expuesto anteriormente y además por ser tan fuerte, por tu apoyo, por tu confianza, por no pedir nunca nada a cambio y por apoyar siempre mis decisiones. Esa dureza de carácter, esa cabezonería, esa determinación entre otras cosas, no tengo duda que me los has transmitido tú, desde el primer día de mi vida, para lo bueno y lo no tan bueno también. Somos parcos en palabras, sobre todo de reconocimiento y agradecimiento, a pesar de que en muchas ocasiones no hubiera estado de más hacerlo, tanto en una dirección como en la otra. Pero así somos y así nos queremos. Gracias “Mama”.

Y acabaré este apartado de agradecimientos para las dos personas que más han vivido este proceso. En algunos momentos, quizás demasiados, lo han sufrido. Belén, Clàudia, no sólo tengo que daros las gracias, si no que tengo que pedir os disculpas. Gracias por darme apoyo, por entenderme, por comprenderme y, disculpas, por soportarme en los momentos difíciles donde sólo en la convivencia íntima aparecen todos los fantasmas; por desaparecer en muchos momentos donde quizás era necesario, pero estaba centrando mis esfuerzos y tiempo en esta empresa. Belén, hemos compartido este proyecto personal con otros proyectos personales tuyos donde no te he ayudado como hubiera querido y, que espero que también lleguen a buen puerto. Te quiero. Clàudia, te has ido haciendo mayor viendo como durante muchas horas de tu infancia tu padre no ha estado contigo, si no delante de una pantalla. En estos años he intentado poder conciliar el trabajo, los estudios y la vida familiar, pero sé que en algunos momentos no he estado y jugado contigo lo suficiente. Ahora que llegas a ese periodo tan complejo y mágico que es la adolescencia, quiero que puedas volver a contar conmigo al cien por cien. Te quiero.

Resumen

Introducción. El entrenamiento de la velocidad máxima de desplazamiento (VMD) tiene una gran influencia en el rendimiento de muchas especialidades deportivas. La súper velocidad (SV) o velocidad asistida destaca por su especificidad como método de entrenamiento, aunque también por la escasez de evidencia científica que la sustente. Las condiciones de SV pueden generarse por diferentes vías y metodologías, que distan mucho de estar estandarizadas. En este contexto, los dispositivos motorizados de arrastre ofrecen unas características que pueden permitir mejorar esta situación. **Objetivos.** 1) determinar el estado de la cuestión sobre los efectos agudos de las condiciones de SV mediante sistemas de arrastre; 2) analizar los efectos agudos de diferentes cargas de SV mediante un dispositivo de arrastre motorizado; 3) establecer una propuesta de estandarización de las cargas de SV a partir del porcentaje de peso corporal; 4) analizar los efectos de un programa de entrenamiento de SV en jóvenes atletas dentro de una aproximación ecológica al entrenamiento. **Metodología.** Para el primer objetivo se realizó una revisión sistemática con metaanálisis siguiendo la metodología PRISMA. Para el segundo objetivo, se realizó un análisis de los efectos agudos de tres cargas de SV en atletas jóvenes, mediante el uso de un dispositivo motorizado de arrastre. Para el tercer objetivo, se establecieron unas teóricas cargas óptimas de entrenamiento derivadas de los efectos individuales y estandarizadas en porcentajes relativos al peso corporal de los atletas. Para el cuarto objetivo, se realizó una intervención de SV en atletas jóvenes analizando los efectos post entrenamiento sobre la VMD. **Resultados.** Los resultados de la revisión sistemática con metaanálisis muestran que los incrementos agudos en la VMD (d : 1,54; 95% IC: 0,94 – 2,14; $p < 0,001$) son principalmente debidos a un incremento de la longitud de paso (d : 0,92; 95% IC: 0,57 – 1,28; $p < 0,001$) y el tiempo de vuelo (d : 0,28; 95% IC: 0,09 – 0,48; $p = 0,004$) y una disminución del tiempo de contacto (d : -0,57; 95% IC: -0,77 – -0,37; $p < 0,001$), no siendo capaces de determinar el origen de dichos cambios. Los resultados agudos de diferentes cargas de SV, sobre diferentes variables, nos muestran que las teóricas cargas óptimas, en los sujetos estudiados, están entre el $3,47 \pm 0,68\%$ y el $6,94 \pm 1,35\%$ del peso corporal y producen velocidades del $102,91 \pm 2,91\%$ y del $104,88 \pm 3,01\%$ de la VMD respectivamente. La intervención de SV nos muestra incrementos no significativos ($p < 0,05$) de la VMD, a nivel global en la muestra, pero con un tamaño del efecto grande (d : 0,89; 95% IC: -0,10 – 1,82), apreciándose diferencias individuales entre los sujetos estudiados. **Conclusiones.** Los sistemas de arrastre

incrementan de manera aguda la VMD de los atletas, pero quedan aún por determinar los mecanismos responsables a nivel mecánico, fisiológico y molecular. Es necesario determinar la carga de entrenamiento que produzca aumentos de la VMD de manera individual y que afecte lo menos posible el patrón natural de carrera de velocidad. Por este motivo, sería necesario estandarizar el control y la expresión de estas cargas de entrenamiento, proponiendo hacerlo a partir del porcentaje sobre el peso corporal. No obstante, es un ámbito de estudio con mucho desarrollo metodológico por delante y hoy en día no se puede argumentar que su utilización sea necesaria y beneficiosa para todos los deportistas para el incremento de su VMD. Para ello es necesario aumentar la cantidad de estudios realizados y estandarizar los resultados, haciendo hincapié en las variables mecánicas, fisiológicas y moleculares asociadas a los mecanismos responsables de los posibles cambios.

Palabras clave

Velocidad asistida; entrenamiento; porcentaje de peso corporal; estado madurativo; aproximación ecológica; individualización; respondedores; tamaño del efecto.

Abstract

Introduction. Maximum running speed (MRS) has a significant impact on sports performance. Among the different training methods, overspeed (OS) - or assisted speed - stands out for its specificity. However, there is a scarcity of scientific evidence to support its effectiveness, and the methodologies used to generate OS conditions lack standardization. Motorized devices offer characteristics that can potentially improve this situation. **Objectives.** 1) to determine the current situation of the acute effects of OS conditions using towing systems; 2) to analyze the acute effects of different OS loads using a motorized towing system; 3) to propose a standardization method for OS loads based on the percentage of body weight; 4) to analyze the effects of an OS training program on MRS in young athletes within an ecological approach to training. **Methodology.** The first objective was addressed through a systematic review with meta-analysis following the PRISMA methodology. The second objective involved analyzing the acute effects of three different OS loads on young athletes using a motorized towing system. The third objective focused on establishing theoretical optimal training loads based on individual effects and standardizing them as a percentage relative to the athletes' body weight. Finally, the fourth objective entailed implementing an OS intervention in young athletes and analyzing the post-training effects on MRS. **Results.** The systematic review with meta-analysis revealed that acute increases in MRS ($d: 1.54$; 95% CI: $0.94 - 2.14$; $p < 0.001$) were primarily attributed to an increase in step length ($d: 0.92$; 95% CI: $0.57 - 1.28$; $p < 0.001$) and flight time ($d: 0.28$; 95% CI: $0.09 - 0.48$; $p = 0.004$), as well as a decrease in contact time ($d: -0.57$; 95% CI: $-0.77 - -0.37$; $p < 0.001$). However, the mechanisms underlying these changes could not be determined. The analysis of different OS loads demonstrated that the theoretical optimal loads, relative to body weight, ranged from $3.47 \pm 0.68\%$ to $6.94 \pm 1.35\%$, resulting in speeds of $102.91 \pm 2.91\%$ and $104.88 \pm 3.01\%$ of MRS, respectively. The OS intervention led to non-significant increases ($p < 0.05$) in MRS across the sample, although with a large effect size ($d: 0.89$; 95% CI: $-0.10 - 1.82$), indicating individual differences among the subjects studied. **Conclusions.** Towing systems have been shown to acutely increase MRS in athletes. However, the specific mechanical, physiological and molecular mechanisms underlying these improvements remain to be determined. It is essential to identify the training load that produces individual increases in MRS while minimizing interference with the natural sprinting pattern. Therefore, it is recommended to standardize the control and expression

of these training loads based on the percentage of body weight. However, this field of study requires further methodological development, and it is not yet possible to argue that OS training is beneficial for all athletes to increase their MRS. In order to confirm this, more studies need to be conducted, and results should be standardized, with a focus on exploring the mechanical, physiological, and molecular variables associated with the potential mechanisms of change.

Keywords

Assisted speed; training; body weight percentage; maturity status; ecological approach; individualization; responders; effect size.

Sumario

Primera parte	V
Dedicatorias	VII
Agradecimientos	IX
Resumen y palabras clave	XIII
Abstract and keywords	XV
Sumario	XVII
Índice de tablas	XIX
Abreviaturas	XX
Segunda parte	XXI
1. Introducción	23
1.1. Preámbulo	23
1.2. Justificación de la investigación	23
2. Objetivos de la investigación	26
2.1. Objetivos generales de la tesis doctoral	26
2.2. Objetivos específicos de los estudios que conforman la tesis doctoral ...	26
2.2.1. Estudio 1	26
2.2.2. Estudio 2	27
2.2.3. Estudio 3	28
3. Marco teórico	29
3.1. Los 100 metros lisos: fases y determinantes del rendimiento	29
3.2. La técnica de carrera en la fase de velocidad máxima de desplazamiento: factores mecánicos	31
3.3. El concepto de barrera de velocidad	33
3.4. Aspectos neuromusculares del rendimiento en las carreras de velocidad	34
3.5. Métodos de entrenamiento de la velocidad	36
3.6. La velocidad asistida o súper velocidad como método de entrenamiento para la mejora de la velocidad máxima de desplazamiento	37
3.7. Efectos del viento a favor sobre la velocidad máxima de desplazamiento	38

3.8. Efectos de las condiciones de súper velocidad producidas por cintas o tapices rodantes	39
3.9. Efectos de las condiciones de súper velocidad producidas por carreras en pendiente descendiente	40
3.10. Efectos de las condiciones de súper velocidad producidas por dispositivos de arrastre o remolcaje	42
3.11. El entrenamiento de velocidad y súper velocidad en jóvenes	46
4. Metodología	50
4.1. Estudio 1	
4.2. Estudio 2	
4.3. Estudio 3	
5. Resultados	51
5.1. Estudio 1	
5.2. Estudio 2	
5.3. Estudio 3	
6. Discusión general	53
6.1. Efectos agudos de las condiciones de súper velocidad	53
6.2. Selección de cargas de entrenamiento óptimas para el entrenamiento de súper velocidad	56
6.3. Efectos de programas de entrenamiento de súper velocidad	59
7. Conclusiones generales y posibles líneas de investigación	65
8. Referencias	67
9. Anexos	80
9.1. Anexo 1	80
9.2. Anexo 2	122
9.3. Anexo 3	143
9.4. Anexo 4	170
9.5. Anexo 5	174

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados individuales y porcentaje de cambio pre y post intervención en la velocidad máxima de desplazamiento.62

Tabla 2. Variación individual de los valores de la variable V30m durante las sesiones de la intervención.63

Abreviaturas

aEMG: actividad electromiográfica

AP: amplitud de paso

DH: distancia horizontal entre el primer contacto del pie en el suelo y la proyección vertical del centro de masas

FP: frecuencia de paso

PMCA: pico de máximo crecimiento en altura

SA: sistemas de arrastre

SV: súper velocidad

TC: tiempo de contacto

TE: tamaño del efecto

TV: tiempo de vuelo

VMD: velocidad máxima de desplazamiento

Segunda parte

1. Introducción

1.1. Preámbulo

Los entrenadores deportivos y preparadores físicos tienen como objetivo principal mejorar el rendimiento de los deportistas a los que tienen bajo su responsabilidad. La velocidad es capacidad determinante en la mejora de este rendimiento en muchas disciplinas. Por este motivo, conocer las características y posibles efectos de medios y métodos de entrenamiento específicos para tal mejora, entre ellos, la súper velocidad, será clave.

Hasta la fecha, pese a diferentes estudios que han profundizado en la temática y aportado interesantes datos, no existe suficiente evidencia metodológica ni científica que permita una sistematización y estandarización en su aplicación. Es por esto que con esta tesis doctoral pretendemos ayudar a los técnicos deportivos y a los investigadores del ámbito de las ciencias de la actividad física y deportiva a ampliar el conocimiento sobre la súper velocidad como método de entrenamiento e intentar estandarizar aspectos metodológicos para poder replicarlos y utilizarlos ampliamente, aprovechando los nuevos dispositivos disponibles actualmente.

Esta tesis doctoral se ha realizado en la modalidad de compendio de artículos, siguiendo la [normativa](#) de la Universitat de Barcelona – INEFC.

1.2. Justificación de la investigación

En el ámbito deportivo, tanto en el entrenamiento como en la competición, la velocidad, en todas y cada una de sus manifestaciones, influye determinantemente en el rendimiento (Colyer et al., 2020; Meyers et al., 2017; Upton, 2011). Realizar acciones como saltos, lanzamientos, cambios de dirección, aceleraciones, desaceleraciones o desplazarse a una mayor velocidad puede implicar conseguir mejores resultados deportivos individuales y también imponerse a los adversarios (Corn y Knudson, 2003; Haugen et al., 2019; Hicks, 2017; Leyva et al., 2017; Van den Tillaar, 2021), en esa doble vertiente que tiene el rendimiento deportivo de superación personal y de enfrentamiento o comparación con los otros. En el caso concreto de las pruebas de velocidad del atletismo, que tienen su máximo exponente en disciplinas entre 60 y 100 metros lisos (Haugen et al., 2019; Morin et al., 2012; Nagahara, Matsubayashi, et al., 2014), la velocidad máxima de desplazamiento es el factor que más incidencia tiene en el resultado final individual, es decir, en la mejor

marca personal de cada atleta (Haugen et al., 2019; Nagahara et al., 2014; Rumpf et al., 2016). Mejorar, por tanto, esa capacidad de desplazarse más rápido será el objetivo principal de todo el proceso de entrenamiento de los velocistas.

El deportista, para mejorar su rendimiento en las pruebas de velocidad, dependerá principalmente de dos grandes factores: 1) los innatos, propios basados en sus genotipo y 2) los adquiridos durante su vida a través de los estímulos soportados y su entrenamiento (Haugen et al., 2019).

Los factores determinantes del rendimiento en las pruebas de velocidad, centrándonos en la velocidad máxima de desplazamiento, deben analizarse para poder superar nuestros límites. Una vez conocidos los factores determinantes del rendimiento, el siguiente paso en el proceso hacia la mejora de la prestación individual sería conocer, tanto a nivel teórico como experimental, los diferentes medios y métodos de entrenamiento que pueden ser utilizados. Estos medios y métodos tendrán como objetivo superar los parámetros de cada atleta en cada uno de los factores determinantes y es vital conocer los efectos que tiene cada tipo de entrenamiento sobre ellos (Leyva et al., 2017).

El modelo técnico propio de los velocistas ha sido ampliamente estudiado desde la perspectiva biomecánica (Mero et al., 1992). No obstante, no existe un modelo técnico universal que sea válido para todos los deportistas, si no que será el modelo técnico el que debe adaptarse a las características antropométricas y condicionales de los atletas (Haugen et al., 2018). La individualidad del entrenamiento y los estímulos externos afectan directamente en la evolución, maduración y rendimiento deportivo.

Basándonos en la máxima especificidad posible en cuanto al modelo técnico, el método de entrenamiento más utilizado para la mejora de la velocidad de desplazamiento es el propio entrenamiento de sprints a máxima velocidad (Haugen et al., 2019), la velocidad se mejora con velocidad (Sedláček et al., 2015).

No obstante, a medida que se entrena, el mismo entrenamiento de velocidad va perdiendo efectividad, sobre todo a nivel neuromuscular, disminuyendo su capacidad de alterar el estado de equilibrio y producir nuevas adaptaciones, entrando en lo conocido como *plateau* o barrera de velocidad (Faccioni, 1992; Schiffer, 2011; Tabachnik, 1992), concepto que se amplía en el marco teórico. Por tanto, deben utilizarse medios y métodos de entrenamiento que permitan superar esa barrera de velocidad, buscando principalmente adaptaciones a nivel coordinativo, tanto intra como intermuscular, y neuromuscular (Sedláček et al., 2015). Esos entrenamientos deben romper el estado de equilibrio, incrementar la intensidad específica y llevar al deportista a un nivel adaptativo

superior, pero siempre intentando mantener en la medida de lo posible el patrón motor individual de técnica de carrera en esprint (Faccioni, 1992).

El llamado entrenamiento de súper velocidad o velocidad asistida es uno de los métodos que se utilizan para conseguir que el velocista incremente su velocidad máxima de desplazamiento. Este tipo de estímulo consiste en llevar al atleta a velocidades superiores a las que él es capaz de producir (Hicks, 2017; Sedláček et al., 2015). Las condiciones de súper velocidad pueden ser conseguidas a través de diferentes dispositivos (Clark et al., 2021; Hauschildt, 2010; Kristensen et al., 2006) o modificaciones de las condiciones ambientales (Bissas et al., 2022; Ebben, 2008). Entre los dispositivos utilizados, están los que consisten en arrastrar al atleta desde delante, mediante fuerzas de tracción que pueden ser producidas por dispositivos no motorizados como cuerdas, poleas, contrapesos o gomas; o motorizados, con un cable o cuerda enganchado al atleta y a un motor o vehículo que estira del mismo (Leblanc y Gervais, 2004). Otros dispositivos capaces de llevar al atleta a velocidades supra máximas son las cintas rodantes de alta velocidad (Hauschildt, 2010). Si hablamos de modificar o aprovechar las condiciones ambientales, principalmente destacan las carreras en pendiente descendiente (Ebben, 2008; Paradisis y Cooke, 2006) o las carreras con viento a favor, que mejoran el rendimiento en pruebas de velocidad (Linthorne, 1994; Ward-Smith, 1999).

Creemos que en la actualidad la mejor opción para investigar los efectos del entrenamiento de súper velocidad son los dispositivos motorizados de arrastre, por su facilidad de uso, de administración de la carga, por la inmediatez de resultados y por su especificidad en cuanto a patrón técnico, entre otros factores (Clark et al., 2021; Lahti, et al., 2020; Van den Tillaar, 2021).

2. Objetivos de la investigación

2.1. Objetivos generales de la tesis doctoral

Como objetivos generales de esta tesis doctoral se plantearon:

- 1) Determinar el estado de la cuestión sobre los efectos agudos de las condiciones de súper velocidad mediante sistemas de arrastre. (Publicación 1)
- 2) Analizar los efectos agudos de diferentes cargas de velocidad asistida con dispositivo de arrastre motorizado. (Publicación 2)
- 3) Establecer una propuesta de estandarización de las cargas de velocidad asistida sobre porcentajes de peso corporal, a partir de los efectos agudos de las cargas y para su utilización en periodos de entrenamiento. (Publicación 2)
- 4) Analizar los efectos de un programa de entrenamiento de súper velocidad dentro de una aproximación ecológica al entrenamiento y establecer una propuesta metodológica para intervenciones de súper velocidad con sistema de arrastre motorizado. (Publicación 3)

2.2. Objetivos específicos de cada uno de los estudios que conforman la tesis

2.2.1. Estudio 1: Efectos agudos de los estímulos de súper velocidad con sistema de arrastre en el rendimiento del esprint: una revisión sistemática con metaanálisis.

Estudio publicado en la revista [Journal of sports sciences](#). Los índices de impacto de esta pueden consultarse en el siguiente [enlace](#). Las métricas del estudio desde su publicación pueden consultarse en el siguiente [enlace](#).

Cecilia-Gallego, P., Odriozola, A., Beltran-Garrido, J. V., & Álvarez-Herms, J. (2022). Acute effects of overspeed stimuli with towing system on athletic sprint performance: A

systematic review with meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 40(6), 704-716. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2015165>

Objetivos del Estudio 1:

El objetivo principal de esta revisión fue analizar el sistema de arrastre entre todos los métodos de súper velocidad, teniendo en cuenta que permite un mayor control en la cuantificación de la carga de tracción externa y que el estímulo puede ajustarse individualmente para cada atleta.

Como segundo objetivo, esta revisión buscó establecer recomendaciones metodológicas para posibles intervenciones de súper velocidad con sistema de arrastre.

2.2.2. Estudio 2: Efectos agudos de diferentes cargas de súper velocidad con un sistema de arrastre motorizado en atletas jóvenes: un estudio piloto.

Estudio publicado en la revista [Biology](#). Los índices de impacto de esta pueden consultarse en el siguiente [enlace](#). Las métricas del estudio desde su publicación pueden consultarse en el siguiente [enlace](#).

Cecilia-Gallego, P., Odriozola, A., Beltrán-Garrido, J. V., & Álvarez-Herms, J. (2022). Acute effects of different overspeed loads with motorized towing system in young athletes: A pilot study. *Biology*, 11(8), 1223. <https://doi.org/10.3390/biology11081223>

Hipótesis y objetivos del estudio 2:

Las hipótesis del estudio fueron que los resultados en las variables analizadas variarían dependiendo de las diferentes cargas utilizadas y que aparecerían algunas diferencias entre individuos que influirán en la selección de cargas para utilizar estos métodos a medio o largo plazo.

El primer objetivo fue analizar los efectos agudos de diferentes cargas de súper velocidad en parámetros cinemáticos y biomecánicos del esprint lineal en jóvenes atletas.

Un segundo objetivo fue identificar las teóricas cargas óptimas de tracción recomendadas para su utilización en periodos de entrenamiento con velocidad como una propuesta para replicar en otros estudios y situaciones de entrenamiento.

2.2.3. Estudio 3: Efectos de 10 sesiones de entrenamiento de súper velocidad con sistema de arrastre en atletas jóvenes: la necesidad de una metodología específica e individualización.

Estudio en proceso de revisión en la revista [International Journal of Strength and Conditioning](#).

Cecília-Gallego, P., Odriozola, A., Beltrán-Garrido, J. V., Padullés-Riu, J.M. & Álvarez-Herms, J. (). Effects of 10 sessions of overspeed training with motorized towing system in youth athletes: the need for specific methodology and individualization. *Revista X*, xx(x), xxxx.

Hipótesis y objetivos del estudio 3:

La hipótesis planteada fue que la intervención produciría diferentes efectos atendiendo a las características individuales de los participantes.

El objetivo principal del estudio fue analizar los efectos del entrenamiento de súper velocidad con sistema de arrastre sobre la velocidad máxima de desplazamiento de los participantes y otras variables cinemáticas y biomecánicas que podrían explicar los efectos producidos.

Como segundo objetivo, se planteó este estudio como una propuesta de metodología de entrenamiento que pueda ser replicada para poder comparar resultados y establecer conclusiones más amplias sobre el entrenamiento de súper velocidad con sistema de arrastre.

3. Marco teórico

En todos los grandes campeonatos de atletismo, existe una prueba, los 100 metros lisos, que otorga el título de la mujer o el hombre más rápidos del mundo (Haugen et al., 2019; Nagahara et al., 2019). En el ámbito atlético, el atleta que recorre los 100 metros lisos en el menor tiempo posible, o a una mayor velocidad media, es el vencedor, por tanto, la mejora de la velocidad máxima de desplazamiento (VMD) de los atletas es uno de los principales objetivos de todo entrenador de atletismo (Loturco et al., 2022). Pero, la VMD no es el único factor determinante para conseguir un buen rendimiento en las pruebas de velocidad. Debe hacerse un exhaustivo análisis de las fases de una carrera de velocidad de 100 metros lisos y ver qué factores son decisivos en cada una de las fases a diferentes niveles, principalmente fisiológico y biomecánico (Mero et al., 1992).

3.1. Los 100 metros lisos: fases y factores determinantes del rendimiento.

La carrera de 100 metros lisos se ha dividido en diferentes fases, tradicionalmente, salida o tiempo de reacción, aceleración, mantenimiento de la VMD y pérdida de velocidad (Mero et al., 1992). Dichas fases varían en su duración e influencia en el rendimiento final de la prueba, en función de las características de cada atleta, aunque se pueden establecer unos parámetros de referencia (Morin et al., 2012; Slawinski et al., 2017).

La fase de salida, puesta en acción o tiempo de reacción es aquella que acontece desde el disparo del juez de salidas hasta que el atleta reacciona para empezar a moverse desde los tacos de salida (Mero et al., 1992; Paradisis, 2013). Según Mero y Komi (1990), esta fase se divide en pre motora (el tiempo desde la señal de salida hasta la aparición de activación eléctrica en los músculos) y motora (el tiempo desde la aparición de la actividad eléctrica hasta la producción de fuerza muscular). El objetivo de dicha fase es que sea lo más breve posible, aunque el reglamento de competición de *World Athletics* (World Athletics, 2022) establece que una respuesta inferior a 0,100s es considerada nula, y conlleva la descalificación del atleta. En los últimos tiempos, se ha puesto en entredicho este valor, pues algunos estudios lo consideran aleatorio y opinan que el ser humano es capaz de responder voluntariamente más rápido a un estímulo (Milloz et al., 2021; Pain y Hibbs, 2007). A pesar que esta fase no tenga una influencia clara en el rendimiento de los 100 metros lisos, hay que hacer notar que en el atletismo moderno, los atletas muestran una clara tendencia a mejorar sus tiempos de reacción (Pilianidis et al., 2012), por lo que no

debe despreciarse su entrenamiento, tanto en el tiempo de reacción como en la salida de tacos, acción técnica ampliamente analizada (Bezodis et al., 2019; Mero et al., 1992), pero que no es objeto de estudio de esta tesis.

La fase de aceleración consiste en intentar conseguir lo más rápidamente la VMD de cada atleta (Colyer, Nagahara, y Salo, 2018). Esta fase se caracteriza principalmente por un aumento progresivo de la frecuencia de paso (FP), la amplitud de paso (AP) y el tiempo de vuelo (TV) y por la disminución del tiempo de contacto (TC) de los apoyos, mientras la velocidad aumenta (Colyer, Nagahara, y Salo, 2018; Nagahara, et al., 2014; Wild et al., 2011). A partir de la relación de los cambios entre la aceleración y la AP y la FP, Nagahara et al. (2014) dividen la aceleración en tres subfases: inicial (hasta los $3,6 \pm 0,2$ m), media (entre los $6,6 \pm 0,3$ m y los $25,4 \pm 1,1$ m), y final (a partir de los $27,5 \pm 1,1$ m), llegando a la VMD, con variaciones individuales, entre los metros 30 y 50 del esprint (Colyer et al., 2018). En la sección inicial (hasta el tercer apoyo) es determinante la FP; en la sección media (entre los apoyos quinto y decimoquinto) es especialmente importante el incremento de la AP; mientras que en la sección final, a partir del decimosexto apoyo, no se establece una relación clara entre la influencia de la AP o la FP, dependiendo de cada atleta en concreto, aunque parece depender más de la AP (Nagahara et al., 2014). En lo que se refiere a la aplicación de fuerzas de contacto, las características de cada fase de la aceleración también difieren (Colyer, Nagahara, y Salo, 2018). En las primeras fases del esprint, el rendimiento se asocia más con la producción de fuerza antero – posterior, en las últimas fases del apoyo, relacionadas con la fuerza concéntrica de los extensores de las piernas (Colyer, Nagahara, y Salo, 2018; Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018). A medida que el esprint progresa y aumenta la velocidad, aumenta la importancia de las fuerzas verticales en la primera fase del apoyo, relacionado con las fuerzas de frenado y el *stiffnes* de las extremidades inferiores (Colyer, Nagahara, y Salo, 2018; Colyer et al., 2018). Las principales diferencias en rendimiento en esta fase de aceleración, entre hombres y mujeres, se asocian con una mayor capacidad de producir fuerzas horizontales (Morin et al., 2012), sobre todo a altas velocidades, por parte de los hombres, que permiten alargarla más (Slawinski et al., 2017).

La fase de velocidad máxima difiere también según las características de cada atleta. Esta fase empieza al acabar la de aceleración y llegar a la VMD y tiene una duración desde los 30-50 metros de carrera hasta los 70-80 metros, dependiendo del nivel de los corredores (Haugen et al., 2019). Se caracteriza por una estabilización de la FP y un incremento de

la AP, atendiendo al sexo, no existen diferencias entre hombres y mujeres en FP, siendo mayor la AP para los hombres (Mero et al., 1992; Slawinski et al., 2017). El mantenimiento de la VMD se asocia principalmente con una mayor aplicación de fuerzas verticales en las primeras fases del contacto con el suelo (Colyer et al., 2018; Weyand et al., 2000). Los hombres son capaces de alargar más esta fase de mantenimiento de la VMD pues su fase de aceleración ha sido más larga y son capaces de producir mayores niveles de fuerza a altas velocidades que las mujeres (Slawinski et al., 2017).

La fase de resistencia a la VMD se asocia a la pérdida de velocidad o desaceleración y corresponde a los últimos 20-30 metros de carrera (Haugen et al., 2019). Suele verse acompañada de una reducción de la FP asociada tanto a fatiga del sistema nervioso central como muscular (Slawinski et al., 2017). Las mujeres presentan una mayor pérdida de velocidad en esta última fase, relativamente a los hombres, debido principalmente a dos factores, su menor capacidad de aceleración y su menor capacidad de producción de fuerzas a altas velocidades (Slawinski et al., 2017).

Por tanto, podemos afirmar que los objetivos principales de los velocistas son dos, 1) ser capaces de acelerar durante el máximo tiempo posible, mejorando sus valores de producción de fuerza a altas velocidades y 2) alcanzar los mayores valores posibles de VMD y mantenerlos durante el mayor tiempo posible (Slawinski et al., 2017). De ahí se puede afirmar que la VMD es el factor que más se relaciona con altos niveles de rendimiento en el sprint de 100 metros lisos, tanto en hombres como en mujeres (Colyer et al., 2018; Haugen et al., 2019; Mero et al., 1992; Slawinski et al., 2017).

3.2. La técnica de carrera en la fase de velocidad máxima de desplazamiento: factores mecánicos.

El modelo técnico de la carrera de velocidad ha sido ampliamente estudiado (Bezodis et al., 2019; Haugen et al., 2018; Haugen et al., 2019; Mann y Murphy, 2011; Mero et al., 1992; Slawinski et al., 2017) y no es posible determinar un modelo universal, sino que es la relación de las características de cada atleta entre sí (cinéticas, cinemáticas, fisiológicas o antropométricas) la que determinará un mayor rendimiento (Haugen et al., 2019; Hunter et al., 2004).

En la fase de VMD o velocidad lanzada, el modelo técnico se suele analizar a partir de la división de la zancada en fases. Actualmente una de las propuestas más utilizadas es la

de Stuart McMillan (McMillan, 2018). En ella se divide en tres momentos la fase de apoyo: primer contacto con el suelo (apoyo), apoyo completo (sostén) y despegue (impulsión); y en dos momentos la fase de vuelo: máxima proyección vertical del centro de gravedad y ataque o *strike* (McMillan, 2018), ofreciendo unas posiciones claves de los diferentes segmentos corporales en cada momento. Estas fases no deben entenderse como acciones aisladas, si no diferentes momentos dentro de una acción técnica coordinada entre todos los segmentos del cuerpo, especialmente entre las dos extremidades inferiores y que tendrán como objetivo conseguir proyectar el cuerpo del atleta hacia adelante, minimizando las fuerzas de frenado en la primera fase del apoyo y optimizando las fuerzas de propulsión en la fase posterior del mismo (Haugen et al., 2018; Morin et al., 2012; Weyand et al., 2000).

La VMD será el resultado de la relación entre la AP y la FP (Hunter et al., 2004; Mero et al., 1992; Ross et al., 2001). El objetivo del proceso de entrenamiento de la velocidad máxima sería conseguir un incremento de ambos parámetros a la vez, pero se ha demostrado difícil conseguirlo, pues un incremento de uno puede significar un decremento del otro (Hunter et al., 2004; Salo et al., 2011). Debe buscarse la relación óptima entre ambos factores, no quedando claro cuál es más importante que otro en la consecución de altos niveles de rendimiento (Salo et al., 2011). Además, existen una gran cantidad de factores determinantes de la AP y de la FP (Hunter et al., 2004). Estos factores dependerán de la individualidad de cada atleta y los cambios en un factor afectarán a los otros factores y a la relación entre AP y FP (Hunter et al., 2004; Ross et al., 2001; Salo et al., 2011).

Analizando la dependencia de los velocistas de alto rendimiento de la AP o la FP, parece que los atletas de mayor nivel tienen una AP superior a los de niveles más bajos (Weyand et al., 2000), relacionada con la capacidad de producir más fuerzas en sentido anteroposterior, pero también puede estar relacionada con otros aspectos como la altura, la longitud de pierna o el nivel de hipertrofia muscular en las extremidades inferiores. En dicho estudio de Weyand et al. (2000) se dice que las mayores velocidades se consiguen con mayores cantidades de fuerza, principalmente en la última fase del apoyo, no con movimientos más rápidos de piernas, lo que también está en línea con el estudio de Haugen et al. (2018), que pone en entredicho que la técnica de carrera basada en los principios de la carrera en ciclo anterior o *front side mechanics* (Mann y Murphy, 2011) sea la más eficiente para conseguir mayores velocidades, si no se aprovechan las fuerzas

de la parte posterior del ciclo de la zancada. No obstante, cuando se analizan exclusivamente atletas de alto rendimiento, no hay una superioridad clara entre los que obtienen un mejor rendimiento mediante mayor AP que los que lo hacen mediante mayor FP, sino que hay que buscar la relación en la individualidad (Salo et al., 2011). Pero hay que tener en cuenta que cuando se analiza a cada individuo en relación consigo mismo, los mejores resultados se obtienen cuando los valores de FP son mayores (Salo et al., 2011). En conclusión, la relación entre AP y FP es individual, y hay que tener en cuenta estas características cuando se entrena a los atletas. Los atletas más dependientes de la AP deben conseguir mantener grandes cantidades de fuerza en sus apoyos, mientras que los dependientes de la FP deben poner especial atención al recobro rápido de sus piernas (Salo et al., 2011).

Como conclusión a este apartado, se puede argumentar que no hay un único camino, mecánicamente, para conseguir altas velocidades de carrera, si no que la clave está en la relación individual entre la AP y la FP, y los factores que las determinan (Hunter et al., 2004; Salo et al., 2011). Por este motivo, la individualidad de los estímulos y el conocimiento de la respuesta en cada deportista debe orientar el proceso de entrenamiento. Esta relación óptima entre AP y FP debe realizarse teniendo en cuenta la colocación y alineación de los diferentes segmentos corporales, tanto durante la fase de vuelo como la de apoyo (McMillan, 2018). Especial atención hay que poner en la fase de apoyo, que es en la que se producen las fuerzas, minimizando las de frenado (von Lieres und Wilkau et al., 2020), consiguiendo valores más altos de fuerzas horizontales en sentido anteroposterior (von Lieres und Wilkau et al., 2020), alcanzando, además, unos altos valores de fuerzas de contacto verticales, en la primera fase del apoyo, que permitan seguir corriendo a altas velocidades (Colyer et al., 2018; Weyand et al., 2000).

3.3. El concepto de barrera de velocidad.

Tanto la consecución de una VMD lo más alta posible como la realización de acciones a la más alta velocidad de ejecución tendrán influencia en la consecución de grandes logros deportivos en competición (Colyer et al., 2018). No obstante, los objetivos de desarrollo de cada especialidad deportiva en relación con la especificidad de esta serán diferentes (Rumpf et al., 2016; Upton, 2011).

Según nos muestran Colyer et al. (2018), los atletas manifiestan características diferentes en la capacidad de producir velocidades más altas y durante más tiempo que los futbolistas, como ejemplo de otra tipología de deportes. Las conclusiones son que los atletas producen mayores cantidades de potencia horizontal en su aplicación de fuerzas contra el suelo y que son capaces de atenuar mejor las fuerzas excéntricas en la última fase del frenado, consiguiendo un mayor vector horizontal que los futbolistas, cosa que les permite seguir acelerando más allá de lo que denominan *plateau* o barrera de velocidad de los futbolistas (Colyer et al., 2018).

No obstante, cuando hablamos del entrenamiento de los velocistas, también nos encontramos con el concepto de barrera de velocidad (Schiffer, 2011; Sedláček et al., 2015; Van den Tillaar, 2021). El entrenamiento repetido de carreras a la VMD es el más específico para los velocistas y el más utilizado durante grandes fases de la preparación de estos atletas (Rumpf et al., 2016; Schiffer, 2011; Sedláček et al., 2015). No obstante, este tipo de entrenamiento puede llevar a la creación de un patrón estereotipado a nivel motriz y neuromuscular, en el que el deportista ve como su evolución en la mejora de sus niveles de VMD se ve estabilizado. Además, se puede llegar a un estado de fatiga, tanto central como neural, producto de la repetición del mismo tipo de entrenamientos intensos y altamente específicos (Schiffer, 2011). Atendiendo a las recomendaciones de Colyer et al. (2018), todo el entrenamiento de los velocistas para superar su barrera de velocidad debe basarse en aumentar su capacidad de producir suficiente fuerza vertical, resistir y revertir las fuerzas de frenado y generar una fuerza de propulsión anteroposterior elevada.

3.4. Aspectos neuromusculares del rendimiento en las carreras de velocidad.

Aunque la VMD es el producto de la relación entre la AP y la FP, son varios los factores que influyen, entre ellos los neuromusculares (Behm, 1995; Ross et al., 2001). No obstante, a pesar de que es probable que existan adaptaciones neuromusculares al entrenamiento de alta velocidad, no se puede afirmar con rotundidad que exista una relación causal entre estas adaptaciones y la mejora de la VMD (Ross et al., 2001).

Según Ross et al. (2001), existen varios potenciales mecanismos que pueden influenciar el rendimiento en las pruebas de velocidad como:

- 1) cambios en la secuencia temporal de la activación muscular,
- 2) alteraciones en las estrategias de reclutamiento de las unidades motoras,

- 3) incrementos en la velocidad de conducción nerviosa y la frecuencia o nivel de inervación muscular,
- 4) habilidad de mantener el reclutamiento de fibras musculares y un *firing* o encendido neuromuscular rápido durante la duración del esprint. Behm (1995)
- 5) cambios en la potenciación de reflejos,
- 6) la co-contracción de los músculos antagonistas y en la activación de los músculos sinérgicos durante la contracción muscular.

En las contracciones musculares voluntarias, el sistema nervioso central regula la fuerza muscular cambiando el número de unidades motoras reclutadas y variando los niveles de *firing* neuromuscular individuales (Mero et al., 1992). En cuanto a la activación muscular y las estrategias de reclutamiento, a pesar de que aparecen diferencias de patrones de activación entre velocistas y personas no entrenadas o de resistencia, no es posible determinar que éstas sean responsables de mejoras en el rendimiento, por el déficit de estudios de intervención que analicen estos parámetros (Behm, 1995; Ross et al., 2001).

Otros aspectos neurales para tener en cuenta son la velocidad y el nivel de activación muscular. El nivel de activación muscular se mide mediante electromiografía y varios estudios han demostrado que este aumenta cuando aumenta la velocidad de carrera (Mero y Komi, 1986, 1987). No obstante, es muy complicado obtener datos fiables de electromiografía durante las pruebas de esprint pues pequeñas diferencias en la colocación de los electrodos pueden dar datos no comparables intra o inter - atletas. En cuanto a la velocidad de transmisión de los estímulos, conocida como velocidad de conducción nerviosa, aunque valores rápidos puedan ser indicativos de un corto periodo refractario (Ross et al., 2001) y que es más rápida en sujetos entrenados en disciplinas de esprint (Mero et al., 1992), no existe una clara tendencia en la relación entre estos valores y el rendimiento en el esprint (Ross et al., 2001). Algunas adaptaciones producto del entrenamiento de velocidad podrían ser el aumento de diámetro de los axones nerviosos, lo que produciría una mejora en la velocidad de conducción nerviosa (Mero et al., 1992) y un posible incremento de la mielinización (Ross et al., 2001).

Hay que tener en cuenta también que la fatiga de tipo neural puede ser un factor limitante para el ejercicio de alta velocidad, tanto aguda o durante el ejercicio, como la de aparición y persistencia de manera posterior al ejercicio (Ross et al., 2001). La fatiga neural aguda, en la parte final de un esprint de 100 metros lisos se muestra en factores como el descenso de la FP, posiblemente influidos por el patrón de reclutamiento de fibras y cambios en el

firing neuromuscular así como por decrementos en la sensibilidad refleja (Ross et al., 2001). En cuanto a la fatiga neural de aparición posterior al ejercicio, si bien es difícil de controlar y cuantificar con posterioridad al esprint de máxima velocidad, puede afectar a la coordinación técnica y la propiocepción del atleta, así como a la producción de fuerzas (Ross et al., 2001).

Por lo que refiere a la relación entre las condiciones de súper velocidad (SV) y los aspectos neurales, se ha postulado que el entrenamiento de SV puede influir sobre todo en el incremento de los valores de FP (Mero y Komi, 1985, 1986) y el descenso del TC (Sugiura y Aoki, 2008). En el caso de la FP, un incremento de sus valores se basaría en un aumento de la velocidad de conducción nerviosa y una mayor activación de fibras rápidas (Mero y Komi, 1985, 1986), así como en la capacidad de recuperar la pierna más rápidamente en la fase de vuelo (Sugiura y Aoki, 2008) y, en el caso del TC, sería sobre todo por un aumento en la preactivación de los músculos antes del contacto (Mero y Komi, 1987). No obstante, la gran mayoría de estudios de SV que analizan la FP y el TC lo hacen en condiciones agudas, no tras periodos de intervención, por lo que quedaría por demostrar si realmente el entrenamiento de SV produce cambios en estos parámetros.

3.5. Métodos de entrenamiento de la velocidad.

En el entrenamiento de la VMD se utilizan varios métodos de entrenamiento, divididos principalmente en generales y específicos (Schiffer, 2011). Estos métodos de entrenamiento van dirigidos principalmente a dos objetivos, por un lado, hay toda una serie de métodos que buscan incrementar los niveles de fuerza y, por otro, los que buscan las mejoras a nivel del sistema nervioso central (Van den Tillaar, 2021). Dependiendo del deporte, se tendrán que conocer los parámetros de rendimiento del mismo en competición y los factores determinantes para conseguir los objetivos propuestos (Rumpf et al., 2016). En el caso que nos ocupa, la VMD en atletismo, se han descrito extensamente en los apartados anteriores.

Rumpf et al. (2016) hacen una clasificación de los métodos de entrenamiento de la velocidad en específicos (esprints a velocidad máxima, esprints resistidos y esprints asistidos), no específicos (entrenamientos de fuerza, de potencia y de pliometría) y combinados (mezcla de métodos específicos y no específicos). Dentro del entrenamiento específico, podemos encontrar también el entrenamiento de contrastes, consistente en una

combinación de sprints resistidos, asistidos y de velocidad máxima dentro de una sesión (Schiffer, 2011; Sedláček et al., 2015).

Todos los métodos de entrenamiento analizados muestran que pueden ser efectivos para la mejora de la velocidad de los atletas (Rumpf et al., 2016). No obstante, si nos centramos en los efectos de los diferentes métodos en distancias superiores a 30 metros, donde se desarrollan los valores de VMD (Colyer et al., 2018), los métodos de entrenamiento específicos muestran efectos superiores que los no específicos, principalmente el entrenamiento de sprints a velocidad máxima, por encima de los sprints asistidos o resistidos (Rumpf et al., 2016). El principal problema de los sprints asistidos es la falta de estudios que analicen los resultados de intervenciones de entrenamiento en distancias superiores a 30 metros (Van den Tillaar, 2021).

3.6. La velocidad asistida o súper velocidad como método de entrenamiento para la mejora de la velocidad máxima de desplazamiento.

Como se ha comentado en el apartado anterior, dentro de los métodos específicos de entrenamiento de la velocidad encontraríamos el de la SV (Rumpf et al., 2016), término que usaremos nosotros en esta tesis, aunque en la bibliografía podemos encontrar otras denominaciones, como velocidad asistida, velocidad facilitada, sobre velocidad o velocidad supra máxima. El término SV lo podríamos definir como la utilización de medios, métodos o dispositivos que produzcan en el atleta una situación que le permita correr en unos niveles de velocidad máxima de desplazamiento superiores a los que el propio atleta es capaz de desarrollar por sus propios métodos en un terreno llano (Ebben et al., 2008; Hicks, 2017; Sedláček et al., 2015).

Principalmente, las condiciones de SV se producen mediante dispositivos que arrastran o remolcan al atleta enganchándole desde delante, y que pueden ir desde otros atletas o personas (Mero y Komi, 1985), dispositivos motorizados (Bosco y Vittori, 1986; Clark et al., 2021; Sugiura y Aoki, 2008; Van den Tillaar, 2021), cuerdas con sistemas de poleas y contrapesos (Kristensen et al., 2006), tapices rodantes (Hauschildt, 2010; Kivi et al., 2002) o gomas y cuerdas elásticas (Bartolini et al., 2011; Clark et al., 2009); o mediante el aprovechamiento de las condiciones del entorno y las condiciones climatológicas, como las cuestas en pendiente descendente (Bissas et al., 2022; Ebben, 2008; Ebben et

al., 2008; Paradisis y Cooke, 2001) o el viento a favor (Ward-Smith, 1999), que permiten correr al atleta en condiciones facilitadas.

Además del entrenamiento a máxima velocidad, dentro de los métodos específicos de mejora de la VMD (Rumpf et al., 2016), existen dos grandes métodos, los resistidos, que se basan en la sobrecarga de fuerza durante el sprint y los que lo hacen en la sobrecarga de velocidad (Van den Tillaar, 2021), dentro de los cuales están los entrenamientos de SV (Paradisis y Cooke, 2001). El fundamento de estos métodos recae en la hipótesis que, en condiciones de SV, se sobre estimula el sistema nervioso y el neuromuscular (Mero et al., 1992), como se ha descrito anteriormente, obligando al atleta a correr más deprisa y, sobre todo, a realizar sus movimientos de manera más rápida, aumentando la FP (Hauschildt, 2010). El objetivo principal del entrenamiento de SV es que el atleta, una vez vuelva a correr en condiciones normales, sea capaz de reproducir velocidades superiores a las que conseguía antes de la exposición, aguda o después de periodos de entrenamiento, a la SV (Sedláček et al., 2015). Además, debe tenerse en cuenta que tanto durante como después de la exposición a la SV, el atleta debería ver modificado lo menos posible su patrón motriz o técnica de carrera a máxima velocidad (Hauschildt, 2010).

De manera general, los efectos cinemáticos esperados de la exposición a la SV son un incremento en la FP, la AP y el TV, y un descenso en el TC, que serán los responsables del aumento de la VMD de los atletas (Mero et al., 1992) aunque debe diferenciarse entre la exposición aguda a estas condiciones (Clark et al., 2009; Clark et al., 2021; Mero y Komi, 1985; Mero y Komi, 1986, 1987; Sugiura y Aoki, 2008; Van den Tillaar, 2021) o tras periodos de entrenamiento que podrían producir respuestas adaptativas (Kristensen et al., 2006; Majdell y Alexander, 1991; Stoyanov, 2019; Wibowo et al., 2017), y también diferenciar entre el medio o método de SV utilizado.

3.7. Efectos del viento a favor sobre la velocidad máxima de desplazamiento.

El viento a favor tiene influencia sobre el rendimiento de los atletas de velocidad, mejorando sus prestaciones, pues reduce su gasto energético y reduce el rozamiento del aire en los atletas (Ward-Smith, 1999). Por este motivo, la federación internacional de atletismo o *World Athletics*, regula la intensidad del viento a favor en su reglamento para la validez de las marcas conseguidas en pruebas de velocidad y vallas hasta 200 metros y en saltos horizontales, dejándolo en un valor máximo de 2,0 m/s (World Athletics, 2022).

Este valor de viento a favor de 2,0 m/s ofrece una ventaja aproximada de 0,1s a los atletas en una carrera de 100 metros lisos, teniendo en cuenta también que puede verse afectado por el área total, la forma y el área frontal del atleta, por la densidad del aire y la superficie donde se corre (Ward-Smith, 1999).

No obstante, desde el conocimiento del autor, no existen estudios que utilicen el viento a favor como método de entrenamiento para la mejora de la VMD, a pesar de que en las zonas propensas climatológicamente a tener bastantes días de viento suele ser utilizado por los entrenadores. La dificultad de reproducir las condiciones de viento natural hace casi imposible su utilización de manera sistemática en el entrenamiento. No obstante, algunos técnicos deportivos opinan que sería el mejor método de entrenamiento de SV, pues empuja al atleta de manera homogénea en todo su cuerpo y modifica muy poco su patrón motriz o técnica de carrera de VMD (Sheppard, 2004).

3.8. Efectos de las condiciones de súper velocidad producidas por cintas o tapices rodantes.

En los últimos años se ha visto un incremento del uso de tapices o cintas rodantes de nueva generación para el entrenamiento de la VMD (Hauschildt, 2010; Ross et al., 2009). Estos nuevos dispositivos permiten conseguir grandes velocidades, superiores a los 40 km/h, lo que les permite también ofrecer condiciones de SV (Kivi et al., 2002). Los tapices rodantes permiten desarrollar este tipo de entrenamientos en un entorno controlado, pues incorporan medidas de seguridad, como arneses de suspensión, botones de paro automático o barras laterales para el atleta. Además, la carrera en tapiz rodante sin inclinación o con ligeras inclinaciones no deteriora el patrón motriz del atleta y existe una gran transferencia entre la carrera en tapiz y en el suelo (Kivi et al., 2002). Por otra parte, el entrenamiento con tapices rodantes puede resultar difícil, por el alto coste económico y por la imposibilidad de entrenar más de un atleta simultáneamente (Ross et al., 2009). A pesar de esto, existen muy pocos estudios que incorporen entrenamientos de SV en tapiz rodante (Ross et al., 2009).

3.9. Efectos de las condiciones de súper velocidad producidas por carreras en pendiente descendiente.

La utilización de carreras en terrenos con pendiente descendiente es uno de los principales métodos para conseguir situaciones de SV (Ebben et al., 2008; Muthuraj, 2017; Paradisis y Cooke, 2001, 2006). Correr cuesta abajo puede mejorar la VMD, tanto de forma aguda (Ebben et al., 2008; Paradisis y Cooke, 2001) como tras un periodo de entrenamiento (Muthuraj, 2017; Paradisis y Cooke, 2006; Tziortzis, 1991).

Los incrementos de velocidad de forma aguda podrían deberse, teóricamente, a una acción de la gravedad (Ebben et al., 2008; Paradisis y Cooke, 2001) pero, si los atletas no tienen la determinación y no son capaces de correr a máxima intensidad cuesta abajo, puede que no mejoren su VMD por miedo a caídas o lesiones. Además, correr cuesta abajo puede modificar la relación de las fuerzas propulsivas y de frenado de contacto con el suelo, incluyendo también la posibilidad de una modificación del patrón motriz específico de carrera de máxima velocidad de cada atleta, lo que haría perder especificidad al entrenamiento (Paradisis y Cooke, 2001). Otras limitaciones del entrenamiento en pendientes descendientes son la posibilidad de disponer de ellas para el entrenamiento, que el terreno sea lo suficientemente llano y que el grado de la pendiente sea el adecuado (Muthuraj, 2017).

Varios autores han estudiado los efectos agudos de correr cuesta abajo sobre la VMD y aspectos cinemáticos de los atletas, así como el grado óptimo de pendiente. Paradisis y Cooke (2001) muestran que, corriendo cuesta abajo con una pendiente de 3°, la VMD se incrementa en un 9,2% ($p < 0,05$), con incrementos de la AP del 7,1% ($p < 0,05$), sin diferencias significativas en FP, TC y TV en ocho estudiantes de educación física masculinos. Estos cambios cinemáticos se asociaron con un aumento significativo del 18,4% ($p < 0,05$) de la distancia del apoyo en el suelo a la proyección vertical del centro de masas que se tradujo en cambios significativos ($p < 0,05$) en los ángulos del tobillo (+8,7% de extensión), rodilla (+6,9% de extensión), cadera (-3,8% de flexión) y entre muslos (-25,9% de separación); mientras que la combinación de cambios en el despegue del pie del suelo no produjo cambios significativos en este momento de la postura, comparado con la carrera en terreno llano. Los autores argumentan que, si bien no hay cambios significativos en la FP, es posible que el movimiento de piernas sea más rápido, pues tenían que responder a una mayor AP sin perjuicio de la velocidad de recuperación de las piernas en la fase de vuelo. Ebben et al. (2008), con cuarenta y cuatro deportistas

universitarios masculinos, plantean un estudio para determinar el ángulo óptimo de pendiente descendiente, para la consecución de los mejores valores de aceleración y velocidad. A partir de sus resultados concluyen que, de los cinco grados de pendiente analizados (3,4°; 4°; 4,8°; 5,8° y 6,9°), el de 5,8° es el que produce mejores valores de aceleración ($p < 0,05$), basándose en el tiempo en 10 yardas y de VMD ($p < 0,05$), y velocidad basándose en el tiempo en 40 yardas, siendo el de 6,9° excesivo. No obstante, este estudio no aporta datos cinemáticos ni biomecánicos, por lo que no es posible determinar si el modelo técnico se vio afectado.

Varios estudios han analizado también los posibles efectos crónicos o adaptativos del entrenamiento de SV en pendiente descendiente. Muthuraj (2017), tras un periodo de ocho semanas de entrenamiento con carreras cuesta abajo en 15 chicos jóvenes no entrenados, encuentra incrementos significativos del +8,8% ($p < 0,05$) en la VMD medida antes y después de la intervención, superiores también a los efectos en el grupo control, que no efectuó ningún entrenamiento. No obstante, este estudio presenta algunos déficits metodológicos que hacen difícil su repetición y aprovechamiento de resultados, pues no informa del grado de pendiente de la cuesta y no analiza aspectos mecánicos. Tziortzis (1991), en su tesis doctoral, citado por Paradisis y Cooke (2006), obtuvo incrementos significativos ($p < 0,05$) de +2,3% en la VMD y de +1,4% de la AP, tras doce semanas de entrenamiento en una pendiente descendiente de 8°. No obstante, no se aportaron datos de posibles cambios, debidos a este entrenamiento, en parámetros biomecánicos. Paradisis y Cooke (2006) realizaron un entrenamiento en pendiente descendiente de 3° de seis semanas de duración con una frecuencia de tres días a la semana en siete estudiantes de educación física masculinos. Tras este periodo de entrenamiento, los participantes mejoraron su VMD sobre 35 metros en un 1,1% ($p < 0,05$) y su FP en un 2,3% ($p < 0,05$), sin alteraciones significativas en los otros parámetros cinemáticos analizados. Desde la perspectiva biomecánica, tampoco se observaron diferencias significativas, tras la intervención, en los parámetros analizados, ni en el momento del contacto ni en el de despegue del pie, por lo que se puede afirmar que dicho entrenamiento mejoró la VMD sin alterar el patrón motriz de carrera de máxima velocidad de los participantes. Los autores destacan especialmente que, si bien los efectos agudos de la SV en pendiente descendiente incrementan los valores de AP y no los de FP (Paradisis y Cooke, 2001), después del periodo de entrenamiento sucede lo contrario, posiblemente cumpliendo la hipótesis que para poder correr con una mayor AP manteniendo la FP, los movimientos

de piernas deben realizarse más rápidamente posible. Más estudios que ampliaran la muestra y con velocistas experimentados deberían reproducirse para comprobar la efectividad de esta metodología.

3.10. Efectos de las condiciones de súper velocidad producidas por dispositivos de arrastre o remolaje.

De los diferentes métodos utilizados para conseguir condiciones de SV en los deportistas, quizás el más utilizado, y al mismo tiempo más diversificado, sea el de remolcar o estirar a un atleta desde delante proporcionándole fuerzas externas que le permitan superar su VMD (Clark et al., 2009; Clark et al., 2021; Kristensen et al., 2006; Lahti et al., 2020; Mero y Komi, 1985, 1986, 1987; Sedláček et al., 2015; Sugiura y Aoki, 2008; Upton, 2011; Van den Tillaar, 2021). Además de la diversidad en los medios y dispositivos utilizados, existe también una gran variabilidad metodológica en los estudios existentes en aspectos como el objetivo de desarrollo (aceleración o VMD); el sexo, la edad cronológica, el estado madurativo y/o la edad de entrenamiento de los participantes; el deporte y/o el nivel competitivo de las muestras; la manera de recoger los datos, así como los instrumentos utilizados. Esta situación hace que, aunque sea un método ampliamente utilizado por los técnicos deportivos en sus entrenamientos, los sistemas de arrastre (SA), conocidos como *towing system* en terminología anglosajona, no dispongan del cuerpo teórico científico suficiente ni de una metodología estandarizada que permita afirmar con rotundidad su validez para la mejora de la VMD de los deportistas.

Existe una importante cantidad de estudios, desde hace más de 40 años, que han intentado describir los efectos agudos en el deportista de la exposición a condiciones de SV (Bosco y Vittori, 1986; Mero y Komi, 1985; Mero et al., 1987; Mero y Komi, 1986, 1987). La primera gran división para analizar los efectos agudos de la SV es la de los SA utilizados, separándolos en motorizados y no motorizados. Los dispositivos motorizados (Bosco y Vittori, 1986; Clark et al., 2021; Mero et al., 1987; Sugiura y Aoki, 2008; Van den Tillaar, 2021) consisten en un motor que recoge un cable o cuerda enganchado al atleta, generalmente a su cintura. Estos dispositivos permiten establecer la magnitud de la carga con la que se estira al atleta de manera más estandarizada y replicable. Además, la carga es posible administrarla de manera homogénea, en cuanto a magnitud, durante toda la duración de la carrera de SV. Incluso los nuevos dispositivos existentes (Clark et al., 2021; Van den Tillaar, 2021) permiten aplicar o quitar la carga en determinados

momentos de la carrera. En cuanto a los SA no motorizados, encontramos principalmente que las fuerzas que tiran del atleta son producidas por otras personas (Mero y Komi, 1985; Sedláček et al., 2015), por combinaciones de poleas y contrapesos (Kristensen et al., 2006; Mero y Komi, 1986, 1987; Van den Tillaar y Gamble, 2018) o por gomas o cuerdas elásticas (Bartolini et al., 2011; Clark et al., 2009). Una de las principales dificultades de este tipo de SA es la estandarización de las cargas de entrenamiento utilizadas y las variaciones de magnitud durante la aplicación de las mismas, especialmente con las gomas y cuerdas elásticas, que producen más fuerza al principio, en la fase de aceleración, perdiendo acción a medida que el deportista avanza en su carrera (Bartolini et al., 2011; Clark et al., 2009).

Podemos describir los principales efectos agudos de los SA, a partir del estudio de la bibliografía existente. En primer lugar, un incremento de la VMD de los participantes, aunque con grandes variaciones entre estudios debidas a las diferencias metodológicas expuestas anteriormente, desde un 2,1% con una carga de 3kg (Van den Tillaar y Gamble, 2018) hasta un 14,3% con cargas entre 100-150N (Bosco y Vittori, 1986).

Desde la perspectiva cinemática, estos incrementos de VMD se reflejan principalmente en un aumento significativo de la AP, desde un 3,4% (Sugiura y Aoki, 2008) hasta un 11,4% (Sedláček et al., 2015), aunque otros estudios no aprecian cambios o incrementos significativos en este parámetro (Clark et al., 2009; Leblanc y Gervais, 2004; Mero y Komi, 1986). Por lo que se refiere a la FP, encontramos una tendencia al incremento, pero no significativo, con gran diversidad de resultados. Entre los estudios que muestran incrementos significativos de FP encontramos los de Mero y Komi (1986), Sugiura y Aoki (2008) y Clark et al. (2009). En cuanto al TV, la tendencia clara es a un aumento en sus valores, significativamente en algunos estudios (Clark et al., 2021; Mero y Komi, 1985; Mero et al., 1987; Sedláček et al., 2015; Van den Tillaar y Gamble, 2017) y no significativamente en otros (Mero & Komi, 1987; Van den Tillaar, 2018); aunque también algunos estudios reportan decrementos de TV no significativos (Bosco y Vittori, 1986; Sugiura y Aoki, 2008). Por último, el TC muestra claramente una tendencia significativa al descenso de sus valores, desde un -2,8% ($p < 0,05$) (Van den Tillaar y Gamble, 2017) hasta un -8,6% ($p < 0,01$) (Bosco y Vittori, 1986). A pesar de esta tendencia, son interesantes algunos de los estudios de Anti Mero y colaboradores en la década de 1980 (Mero y Komi, 1985; Mero et al., 1987; Mero y Komi, 1986, 1987), que dividen el TC en dos fases, la de frenado o excéntrica y la de aceleración o concéntrica. De sus

resultados se desprende una tendencia a que el TC aumente en la fase de frenado y disminuya en la de aceleración, es decir, a que las fuerzas de frenado sean más altas y necesiten un mayor tiempo de amortiguación, y que las fuerzas propulsivas se apliquen durante menos tiempo y sean menores. A partir del análisis cinemático, puede parecer que todos los efectos reproducidos sean meramente producto de la acción del SA que tira del atleta hacia adelante con una menor producción de fuerzas y actividad neuromuscular (Leblanc y Gervais, 2004; Sedláček et al., 2015; Sugiura y Aoki, 2008).

Para poder determinar la influencia de las condiciones de SV y compararlas con las de VMD, algunos artículos han estudiado la actividad electromiográfica (aEMG) de los deportistas (Mero et al., 1987; Mero y Komi, 1986, 1987; Sugiura y Aoki, 2008; Van den Tillaar y Gamble, 2018). Mero y Komi (1986) informaron aumentos significativos de aEMG en SV en los músculos vasto lateral y gastrocnemio en el grupo *Men B* (PB 100-m: $10,96 \pm 0,19$ s) durante la fase excéntrica de contacto ($p < 0,001$) y en el grupo *Women* (PB 100-m: $12,22 \pm 0,28$ s) en la fase concéntrica ($p < 0,05$) en comparación con la VMD. Otro estudio de los mismos autores (Mero y Komi, 1987) analizó la aEMG preactivación durante el contacto, la aEMG postactivación y la aEMG mínima en diez músculos (gastrocnemio, bíceps femoral, glúteo máximo, recto femoral y vasto lateral en una primera carrera y tibial anterior, dorsal ancho, recto abdominal, bíceps braquial y tríceps braquial en una segunda carrera). El estudio describió cómo la preactivación de los cinco músculos de las piernas aumentó significativamente ($p < 0,001$) en todas las condiciones, desde submáxima a supramáxima, cuando se compararon VMD y SV. Los valores posteriores a la activación de los cinco músculos de las piernas disminuyeron de manera no significativa en SV en comparación con VMD. No se observaron cambios significativos en términos de actividad mínima de los cinco músculos de las piernas. Además, otro estudio de Mero et al. (1987) no registró cambios en la aEMG en los cinco músculos evaluados (gastrocnemio, vasto lateral, bíceps femoral, recto femoral y glúteo mayor), ni durante la fase de contacto ni durante la fase de vuelo. El estudio de Sugiura y Aoki (2008) evaluó la aEMG en el bíceps y recto femorales en condiciones de VMD y SV. En el análisis de dos zancadas consecutivas, el recto femoral aumentó su actividad ($121 \pm 13\%$ $p < 0,05$) en el Vuelo 1 (desde el momento en que un pie deja el suelo hasta el contacto del pie contralateral) ($p < 0,05$). Sin embargo, el bíceps femoral aumentó su actividad ($121 \pm 23\%$ $p < 0,01$) en el Vuelo 2 (desde que el segundo pie deja el suelo hasta que el primer pie vuelve a tocar el suelo) ($p < 0,01$) en velocidad supramáxima. La aEMG

del bíceps femoral también disminuyó en la fase de contacto en SV ($88 \pm 7\%$ $p < 0,01$). Por último, Van den Tillaar y Gamble (2018), al medir valores paso a paso, solo encontraron diferencias significativas ($p < 0,006$) en el aumento de la aEMG para los músculos bíceps femoral y semimembranoso en los pasos 1 a 4. De todos estos hallazgos podría afirmarse que los atletas, en condiciones de SV, disminuyen su aEMG en las acciones propulsivas y la aumentan en las acciones de frenado y recuperación de la pierna después de la impulsión.

Tres estudios (Mero et al., 1987; Mero y Komi, 1986, 1987) analizaron los valores de las fuerzas de reacción del suelo con plataformas de fuerza en condiciones de SV. Para describir y analizar las fuerzas, dividieron el contacto con el suelo en fase excéntrica y fase concéntrica. Durante la fase concéntrica o propulsiva, Mero y Komi (1986) demostraron que los valores de la fuerza resultante media disminuyeron no significativamente en SV, mientras que en otros dos estudios (Mero et al., 1987; Mero y Komi, 1987) no se informaron cambios. Por el contrario, se observaron aumentos significativos durante la fase excéntrica o de frenado. Mero y Komi (1986) describieron cómo las fuerzas de contacto aumentaron significativamente ($p < 0,05$) en dos grupos, *Women* y *Men A* (PB 100-m: $10,62 \pm 0,04$ s), y no significativamente en el grupo *Men B*. Mero et al. (1987) reportaron incrementos significativos ($p < 0,01$ — $0,001$) en los parámetros de fuerzas de contacto observados. Este estudio también analizó la fuerza vertical, reportando un aumento significativo ($p < 0,05$ — $0,01$) en la producción de fuerza vertical, tanto en términos de valores máximos como de valores promedio en SV en comparación con la VMD. Por último, se observaron incrementos significativos ($p < 0,001$) en la producción de la fuerza media resultante en esta fase (Mero y Komi, 1987). Por tanto, parece ser también, que las condiciones de SV incrementan las fuerzas que el atleta emplea para frenar el movimiento y disminuyen las que utiliza para propulsarse, en línea con los hallazgos de aEMG, por lo que queda por descubrir si realmente los incrementos en VMD producidos por la SV con SA son por acción del sistema o de la actividad muscular del atleta.

Por último, y como se ha comentado anteriormente, se recomienda que, mientras se corre en condiciones de SV, el modelo técnico del atleta se vea lo menos afectado posible. Algunos estudios han analizado estos factores, de los que especialmente destaca la distancia horizontal del primer apoyo del pie en el suelo hasta la proyección vertical del centro de masas, con estudios que muestran incrementos significativos de la misma (Clark

et al., 2009; Corn y Knudson, 2003; Mero et al., 1987). Un incremento de la AP sumado al de la distancia horizontal entre el punto de apoyo y la proyección vertical del centro de masas podría suponer una pérdida de especificidad del modelo técnico (Clark et al., 2009). En cuanto al ángulo de la rodilla en el momento del contacto con el suelo, encontramos aumentos significativos en SV de 153° a 157° ($p < 0,001$) (Mero y Komi, 1985), de 146° a 152° ($p < 0,001$) (Mero et al., 1987) y de 154° a 161° ($p < 0,01$) (Sugiura y Aoki, 2008). Por otra parte, Sugiura y Aoki (2008) describieron que el ángulo de la rodilla disminuyó significativamente al final del contacto de 161° a 157° ($p < 0,01$). Estas modificaciones podrían relacionarse con el incremento de aEMG y fuerzas de contacto en la fase de frenado del apoyo y el descenso de estas en la fase de aceleración. Por tanto, sería necesario conocer cuáles son los parámetros biomecánicos de los atletas, sobre todo en lo relativo a las angulaciones segmentarias durante los diferentes momentos de la carrera, para poder compararlo con las condiciones de SV y elegir cargas de entrenamiento que no las modificaran en exceso.

3.11. El entrenamiento de velocidad y súper velocidad en jóvenes.

Está ampliamente demostrado que el desarrollo de la capacidad de esprintar no es lineal durante la infancia y la adolescencia (Colyer et al., 2020; Meyers et al., 2015; Nagahara et al., 2019; Papaikovou et al., 2009). Existen diferentes momentos durante el crecimiento y la maduración en los que el desarrollo de la VMD es superior a otros, tanto en chicos (Colyer et al., 2020; Meyers et al., 2017; Moran et al., 2017; Papaikovou et al., 2009) como en chicas (Colyer et al., 2020; Nagahara et al., 2019; Papaikovou et al., 2009). En el periodo de la preadolescencia, la capacidad de esprintar se desarrolla ampliamente tanto en chicas como en chicos, relacionado con el desarrollo del sistema nervioso central, pasando por un estancamiento en las edades cercanas a la llegada de la pubescencia, posiblemente motivado por el incremento en peso y talla y con un incremento en chicos, pero no en chicas, en la post-pubescencia, ya que los chicos en esta etapa se caracterizan por un desarrollo superior de los valores de fuerza, potencia y coordinación (Nagahara et al., 2019).

No obstante, hay que poner especial atención no sólo a la edad cronológica, sino también a la edad biológica o maduración, pues puede afectar también al desarrollo de las capacidades motrices de los deportistas, entre ellas la capacidad de esprintar (Colyer et al., 2020; Meyers et al., 2015). El cálculo de la edad madurativa puede hacerse mediante

diferentes métodos, de mayor o menor fiabilidad y precisión en la determinación de la aparición del pico de máximo crecimiento en altura (PMCA), conocido en terminología anglosajona como *peak height velocity* o *PHV* (Mills et al., 2017), siendo los métodos basados en radiografías los más precisos (Baxter-Jones et al., 2005). No obstante, en el ámbito de la actividad física y el deporte, son ampliamente utilizados métodos indirectos basados en parámetros antropométricos, algunos con un alto grado de precisión en su predicción (Mirwald et al., 2002), sobre todo por la gran facilidad que tienen en la recogida de datos, utilizando técnicas no invasivas. Atendiendo al estado de maduración de los deportistas, se puede observar que aparecen diferentes fases o periodos relacionados con el PMCA, también con diferencias entre chicos y chicas. A pesar de que hay diferencias entre artículos, estas fases se suelen estandarizar en pre-PMCA, circa-PMCA y post-PMCA (Lloyd y Oliver, 2012; Moran et al., 2017). A partir del conocimiento de estas fases y periodos, se pueden proponer objetivos de entrenamiento específicos para cada una de ellas en relación con el desarrollo de la VMD, mediante métodos y medios adecuados tanto según el sexo como el desarrollo madurativo (Colyer et al., 2020; Lloyd et al., 2015a, 2015b; Lloyd y Oliver, 2012).

El estudio de Meyers et al. (2015) con 335 chicos entre 11 y 15 años, analizó el rendimiento, de manera aguda, en diferentes variables del sprint y lo relacionó con el estado madurativo. A nivel antropométrico, la altura, la masa corporal y la longitud de pierna incrementan significativamente ($p < 0,05$) sus valores a medida que se avanza en el estado madurativo. En cuanto a los valores de VMD, aumentan en cada uno de los grupos de maduración establecidos en el estudio, sin diferencias significativas en los grupos pre-PMCA (G1-G2-G3) mientras que las diferencias sí que son significativas ($p < 0,05$) entre los grupos pre-PMCA y el grupo circa-PMCA (G4) así como entre el grupo circa-PMCA y el grupo post-PMCA (G5). En lo que se refiere a la AP, aparecen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos pre-PMCA y los grupos circa-PMCA y post-PMCA, pero no entre el grupo circa-PMCA y el post-PMCA en chicos. Estos aumentos de AP se relacionan con descensos significativos ($p < 0,05$) de FP entre los grupos pre-PMCA (G1-G3) pero no entre estos grupos y el grupo circa-PMCA ni entre este último y el post-PMCA, comportamiento similar al de los valores de TC, que presentan incrementos significativos ($p < 0,05$) entre los grupos pre-PMCA entre sí y no significativos entre pre-PMCA y circa-PMCA y entre circa-PMCA y post-PMCA, mientras que no se encuentran diferencias significativas en TV entre los diferentes grupos,

demostrando estos resultados que el incremento de velocidad a través de los diferentes estados madurativos está más relacionado con la AP que con la FP. Estos resultados podrían relacionarse con la pérdida de control motor y niveles de fuerza necesarios que aparecen durante los periodos pre-PMCA y el incremento de VMD y coordinación técnica durante los periodos circa-PMCA con los incrementos de fuerza y potencia que acontecen en estas fases (Meyers et al., 2015). Este estudio propone que en los estados madurativos pre-PMCA y circa-PMCA se ponga especial interés en proponer entrenamientos que favorezcan el desarrollo de la FP y el TC que, de manera natural, ven su rendimiento frenado y no tanto en la AP, que ya se desarrolla junto con la maduración biológica.

Por su parte, Colyer et al. (2020), analizan la producción de fuerzas de contacto, de manera aguda, durante los diferentes estados madurativos en 80 chicos y 73 chicas de $9,4 \pm 1,6$ años. Los valores de peso, altura, velocidad media y máxima se incrementaron progresivamente en los diferentes estados madurativos tanto en chicos como en chicas, de manera significativa ($p < 0,001$) en velocidad máxima y media en chicos entre los grupos G1 (entre 5,5 y 4,5 años pre-PMCA) y G2 (entre 4,5 y 3,5 años pre-PMCA). En chicas, el único incremento significativo ($p = 0,04$) aparece en velocidad máxima entre los grupos G4 (entre 2,5 y 1,5 años pre-PMCA) y G5 (entre 1,5 y 0,5 años pre-PMCA). En los chicos la VMD se desarrolla de manera acelerada (+12,4%) pre-PMCA (G1 y G2), comportamiento parecido al de las chicas, pero en los grupos G4 y G5 con incrementos de +9,0% de VMD en este periodo. Esto se ha relacionado con un incremento de fuerzas de contacto, especialmente en la producción anteroposterior y en la reducción de la fase de frenado para, rápidamente, pasar a la fase propulsiva en estos momentos madurativos.

Una revisión sistemática con metaanálisis reciente sobre los efectos del entrenamiento de velocidad en chicos jóvenes (Moran et al., 2017), divide los estados madurativos en tres fases, pre-PMCA (entre 10 y 12,99 años), circa-PMCA (entre 13 y 15,99 años) y post-PMCA (entre 16 y 18 años). De sus resultados se desprende que la VMD aumenta de manera significativa entre los diferentes grupos ($p = 0,0007$; $ES = 1,01$). En el grupo pre-PMCA la diferencia de rendimiento entre antes y después de los periodos de entrenamiento aparece como no significativa ($p = 0,77$; $ES = -0,18$). Sí que aparecen diferencias significativas antes y después de los periodos de entrenamiento en el grupo circa-PMCA ($p = 0,003$; $ES = 1,15$) y en el post-PMCA ($p = 0,01$; $ES = 1,39$). Se puede afirmar que la capacidad de esprintar y desarrollar una mayor VMD aumenta con el incremento de maduración en los chicos. Esto se relaciona con el aumento de masa

muscular, longitud de pierna y mejoras coordinativas y de control motor (Moran et al., 2017). Por lo tanto, los autores recomiendan el entrenamiento en las fases pre-PMCA y circa-PMCA pues sus resultados serán más efectivos en la mejora de la VMD. Una especial recomendación que hacen es la de, en el periodo pre-PMCA, poner el interés en realizar entrenamientos que puedan desarrollar la FP, entre ellos velocidad asistida (Moran et al., 2017).

El entrenamiento de SV en atletas jóvenes y/o poco experimentados aparece como poco indicado en algunas publicaciones (Hicks, 2017; Schiffer, 2011). Schiffer (2011), citando a Jakalski (2000), nos indica que los atletas no deberían realizar entrenamientos de SV mientras no tengan un patrón motriz de carrera estable, pues, el uso indebido y, sobre todo, una incorrecta elección de la carga de entrenamiento, podría tener efectos negativos sobre su técnica de carrera. Por su parte, Hicks (2017) recomienda no usar el entrenamiento de SV hasta que los atletas no tengan los niveles de fuerza necesarios para poder hacer frente al incremento de fuerzas provocado por velocidades superiores a la máxima voluntaria. No obstante, no existen demasiados estudios que analicen los efectos, ni agudos ni de periodos de entrenamiento, de la exposición a condiciones de SV a través de las diferentes edades y estados madurativos. Uno de los pocos estudios es el de Stoyanov (2019), realizado con ocho atletas masculinos de edad cronológica media 17,2 años y experiencia en el entrenamiento media de 3,25 años, que nos muestra que, tras un periodo de entrenamiento de siete semanas con SV, obtuvieron correlaciones muy altas del entrenamiento de SV con los resultados en 30 m ($R = 0,92$), 50 m ($R = 0,91$) y 100 m ($R = 0,97$). Desde nuestro conocimiento, ningún artículo ha estudiado los efectos, ni agudos ni adaptativos a las condiciones de SV en el periodo de la preadolescencia o antes del PMCA.

4. Metodología

Esta tesis doctoral ha sido realizada bajo la estructura de compendio de publicaciones, de la que se han desprendido tres artículos, la metodología específica de cada uno de ellos se puede encontrar detalladamente en las versiones originales en los anexos 1, 2 y 3.

4.1. Estudio 1: Efectos agudos de los estímulos de súper velocidad con sistema de arrastre en el rendimiento del esprint: una revisión sistemática con metaanálisis.

El primer artículo ha sido elaborado siguiendo la metodología PRISMA (Moher et al., 2009) para la realización de revisiones sistemáticas con meta análisis. La búsqueda de información se realizó en los buscadores especializados PubMed, Google Scholar y Sport Discus. Con los resultados obtenidos, se ampliaron los artículos mediante una búsqueda manual a partir de las referencias de los artículos seleccionados.

4.2. Estudio 2: Efectos agudos de diferentes cargas de súper velocidad con un sistema de arrastre motorizado en atletas jóvenes: un estudio piloto.

Metodológicamente, el segundo artículo se diseñó como un estudio descriptivo intra - sujeto de la exposición aguda de los participantes a condiciones de SV, producidas por diferentes cargas de entrenamiento generadas por un SA motorizado. Se observaron y analizaron los resultados de las distintas cargas en parámetros biomecánicos y cinemáticos.

4.3. Estudio 3: Efectos de 10 sesiones de entrenamiento de súper velocidad con sistema de arrastre en atletas jóvenes: la necesidad de una metodología específica e individualización.

Por último, el tercer artículo se diseñó como un estudio intra – sujeto donde se analizaron los resultados antes y después de una intervención de diez sesiones de SV producida por un SA motorizado en atletas jóvenes, sobre diferentes parámetros biomecánicos y cinemáticos.

5. Resultados

De la misma manera que la metodología, los resultados de cada uno de los estudios que conforman esta tesis se pueden consultar detalladamente en las versiones originales incluidas en los anexos 1, 2 y 3.

5.1. Estudio 1: Efectos agudos de los estímulos de súper velocidad con sistema de arrastre en el rendimiento del esprint: una revisión sistemática con metaanálisis.

Finalmente, fueron dieciséis los artículos incluidos en la revisión sistemática con metaanálisis que cumplieron los criterios de inclusión. El riesgo de sesgo general de los artículos seleccionados fue catalogado como moderado, principalmente por factores relativos a la falta de aleatorización, así como de la ocultación de resultados a evaluadores y participantes. Como resultado principal, se puede destacar que las condiciones agudas de SV producen un incremento de VMD en los participantes, principalmente atribuible al incremento de la AP, sin poderse esclarecer si por motivos propios del atleta (mayor activación muscular o aplicación de fuerzas) o exclusivamente de la acción del dispositivo.

5.2. Estudio 2: Efectos agudos de diferentes cargas de súper velocidad con un sistema de arrastre motorizado en atletas jóvenes: un estudio piloto.

Las diferentes cargas agudas de SV generadas por el SA produjeron distintos efectos en las variables biomecánicas y cinemáticas estudiadas, en los atletas participantes. Los incrementos de VMD de cada una de las cargas no deberían influir en los parámetros técnicos individuales de la carrera de VMD, por lo que las cargas recomendables para utilizar en periodos de entrenamiento se situaron entre el $3,47 \pm 0,68\%$ y el $6,94 \pm 1,35\%$ del peso corporal, ajustándolas a las características de cada uno de los participantes.

5.3. Estudio 3: Efectos de 10 sesiones de entrenamiento de súper velocidad con sistema de arrastre en atletas jóvenes: la necesidad de una metodología específica e individualización.

El entrenamiento propuesto de diez sesiones de entrenamiento de SV con SA produjo incrementos no significativos ($p > 0,05$) de la VMD del 2,94% (95% IC: 0,25 – 5,62) en los participantes, con un TE grande (d : 0,89; 95%IC: -0,10 – 1,82) (Swinton et al., 2022). De los seis atletas que acabaron la intervención, dos no mejoraron su VMD (F1: -0,12%; F4: -0,51%), mientras que cuatro sí que incrementaron sus valores, algunos de manera muy notable porcentualmente (F2: +5,87%; F3: +7,07%; M1: +1,48%; M2: +2,82%). Las cargas utilizadas no afectaron significativamente a las variables biomecánicas y cinemáticas analizadas, es decir, no alteraron el patrón motriz de carrera a VMD de los participantes.

6. Discusión general.

Este capítulo presenta la discusión general, que abarca los resultados de los dos estudios publicados, así como el estudio realizado en proceso de revisión para su publicación. Debe entenderse la discusión de todos los resultados como si de un solo estudio se tratara: el proyecto de tesis doctoral.

El hecho de que la SV sea un método ampliamente utilizado por los técnicos deportivos puede que, desde el punto de vista empírico, parezca un método útil para desarrollar la capacidad de los atletas de correr más rápido y superar su barrera de velocidad. No obstante, cuando se hace una búsqueda de información de carácter científico sobre el entrenamiento de SV, se puede apreciar que la distancia entre la práctica y la teoría es muy grande, existiendo muy poca evidencia de los efectos de este tipo de entrenamientos, además de una gran diversidad metodológica que incluye diferencias en dispositivos, objetivos, selección de cargas, sexo, edad y nivel o experiencia de los participantes.

Por estos motivos, el hilo conductor de esta tesis doctoral se ha centrado en analizar pormenorizadamente los efectos, sobre todo agudos, así como fruto de periodos de entrenamiento, de las condiciones de SV con SA y, más concretamente, con SA motorizados. Los dispositivos existentes actualmente permiten estandarizar las condiciones de entrenamiento perfectamente para replicar situaciones y comparar resultados, así como poder llegar a crear una metodología de entrenamiento mediante SV con SA que permita afirmar que es un método válido para el desarrollo de la VMD.

6.1. Efectos agudos de las condiciones de súper velocidad

La mayoría de las recomendaciones para el uso de la SV con SA se han basado en dos principales aspectos, los incrementos porcentuales que las condiciones de velocidad asistida producen sobre la VMD de los deportistas y el mantenimiento del patrón motriz natural de atleta en la carrera de máxima velocidad.

Teniendo esto en cuenta, en la bibliografía se propone que dichos incrementos se muevan entre el 103% y el 110% de la VMD (Clark et al., 2009; Lahti, et al., 2020; Mero et al., 1987; Sedláček et al., 2004, 2015; Stoyanov, 2019; Sugiura y Aoki, 2008).

Por este motivo, se creyó necesario e interesante la realización de una revisión profunda de la bibliografía que pudiera unificar los resultados de los diferentes estudios publicados sobre la temática. El resultado fue la revisión sistemática con metaanálisis publicada como el Estudio 1 de esta tesis doctoral (Cecilia-Gallego et al., 2022). En dicha revisión

se muestran sistematizados los efectos agudos de las condiciones de SV producidas por SA de diferentes tipos, no motorizados y motorizados.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que los estudios incluidos en esta revisión presentan un riesgo de sesgo moderado, sobre todo por la falta de aleatorización en los participantes y también por la falta de ocultación de los resultados a participantes y evaluadores (Sterne et al., 2016). Si bien este es un aspecto importante en el método científico, el estudio de la efectividad de los métodos de entrenamiento de la SV en atletas, y más concretamente en atletas especialistas en pruebas de velocidad es muy complicado. Hay que tener en cuenta que, como se ha comentado, la efectividad de estos métodos dista mucho de tener evidencia científica suficiente, por lo que es muy complicado realizar intervenciones con metodologías estandarizadas. Por otra parte, los entrenadores de velocistas de rendimiento no son muy proclives a participar en estudios científicos con los atletas a los que entrenan, sumado al hecho de que dichos grupos son, habitualmente, de un reducido número de atletas. Por eso, la mayoría de los estudios de esta revisión son con muestras reducidas, aún más en mujeres y con grupos por conveniencia, es decir, con aquellos participantes disponibles.

Los efectos de las condiciones de SV con SA comparadas con las VMD de los atletas incluidos en la revisión sistemática con metaanálisis nos muestran incrementos significativos de la VMD (ES = 1,54; IC 95% 0,94 – 2,14; $p < 0,001$); de la AP (ES = 0,92; IC 95% 0,57 – 1,28; $p < 0,001$) y el TV (ES = 0,28; IC 95% 0,09 – 0,48; $p < 0,004$), incrementos no significativos de la FP (ES = 0,12; IC 95% 0,01 – 0,25; $p = 0,082$), así como decrementos no significativos del TC en la fase excéntrica o de frenado (ES = -0,11; IC 95% -0,50 – 0,29; $p < 0,597$) y significativos del TC en la fase concéntrica o propulsiva (ES = -0,49; IC 95% -0,89 – -0,08; $p = 0,018$) y del TC total (ES = -0,57; IC 95% -0,77 - -0,37; $p < 0,001$). Los resultados obtenidos en incrementos de VMD, en AP y TV están en línea con los esperados teóricamente pero no así en FP y TC, cuyos efectos son pequeños o triviales y, en algunos casos, no significativos.

Parece ser que los incrementos de VMD, AP y FV son más producto de la acción del sistema de arrastre que tira del atleta hacia adelante y no de una mayor activación eléctrica del músculo o una mayor producción de fuerzas en el contacto. En el caso del TC excéntrico, los cambios se asocian con una mayor activación del músculo en la preactivación y una mayor producción de fuerzas de frenado en esa fase mientras que en la fase concéntrica aparece una tendencia a la reducción de actividad eléctrica en los músculos encargados de la propulsión, así como al incremento en los músculos

encargados de retornar rápidamente las piernas al ciclo anterior de la zancada. Esto podría considerarse una pérdida de especificidad del entrenamiento de SV con SA, pues mayores velocidades se consiguen con superiores fuerzas propulsivas y no con mayor velocidad de recobro de las extremidades inferiores (Weyand et al., 2000). En cuanto a los valores de FP, si bien no varían excesivamente en condiciones de SV, habría que tener en cuenta que esos valores se han dado en condiciones de AP y TV superiores, por lo que se habrían realizado más rápidamente en relación a la VMD, es decir, no se han realizado zancadas más amplias a expensas de realizarlas a menor frecuencia, como también hacen notar Paradisis y Cooke (2001), aunque en su caso en SV producida en carrera cuesta abajo, argumentando que, estos cambios agudos podrían repercutir en incrementos de FP tras periodos de intervención (Paradisis y Cooke, 2006), por lo que son necesarios más estudios de SV con SA en esta línea.

El segundo aspecto importante que se ha argumentado en la bibliografía respecto a los efectos agudos de la SV con SA, es el hecho de que dichas condiciones no deberían modificar en exceso el patrón motriz natural de carrera de velocidad de los deportistas (Clark et al., 2009; Sedláček et al., 2015) menos aún en deportistas jóvenes o con poca experiencia, que podrían no tener aún un patrón estable o un insuficiente desarrollo muscular (Hicks, 2017; Schiffer, 2011). Los escasos estudios que analizan aspectos biomecánicos de la carrera en SV, comparada con la de máxima velocidad voluntaria describen pocos cambios, que se concretan en un incremento de la distancia horizontal entre el primer contacto del pie en el suelo y la proyección vertical del centro de masas (DH) (Clark et al., 2009; Corn y Knudson, 2003; Mero et al., 1987); un incremento en el ángulo de la rodilla en el momento del contacto con el suelo (Mero y Komi, 1985; Mero et al., 1987; Sugiura y Aoki, 2008) y un decremento del mismo ángulo en el momento del despegue (Sugiura y Aoki, 2008); así como un descenso del ángulo del tobillo en el momento del contacto (Mero y Komi, 1985; Mero et al., 1987). Estas modificaciones biomecánicas podrían relacionarse con el incremento de activación muscular y de fuerzas de contacto en la fase de frenado o excéntrica del contacto (Mero et al., 1987; Mero y Komi, 1986, 1987). Debería asumirse que dichos cambios son implícitos a la aplicación de condiciones de velocidad asistida y realizar muchos más estudios, poniendo el interés especialmente en la selección de las cargas óptimas de entrenamiento.

6.2. Selección de cargas de entrenamiento óptimas para el entrenamiento de súper velocidad

La gran mayoría de estudios que analizan los efectos agudos de las condiciones de SV lo hacen con una sola carga de entrenamiento para todos los participantes (Cecilia-Gallego et al., 2022). No obstante, algunos autores sí que han mostrado su preocupación por conocer los efectos de diferentes cargas de entrenamiento de SV sobre los deportistas analizados, tanto cuesta abajo (Ebben, 2008; Ebben et al., 2008), con gomas elásticas (Bartolini et al., 2011; Clark et al., 2009) como con sistemas motorizados (Cecilia-Gallego et al., 2022; Van den Tillaar, 2021, 2018).

El objetivo principal de conocer los efectos de diferentes condiciones de SV sobre los deportistas debería ser el de seleccionar aquellas con las que se van a realizar sesiones o periodos de entrenamiento con la finalidad de mejorar la VMD de los mismos. Con este fin, se ha recomendado extensamente en la bibliografía que las cargas de entrenamiento utilizadas deberían ser aquellas que producen incrementos agudos de la VMD de entre el 103% y el 110% de la VMD (Clark et al., 2009; Mero y Komi, 1985; Sedláček et al., 2015; Sugiura y Aoki, 2008). A pesar de estos intentos, no se han realizado periodos de entrenamiento con las cargas recomendadas para poder refutar que pueden producir mejoras crónicas o adaptaciones que supongan un incremento de la VMD a posteriori.

Por otra parte, también se ha puesto énfasis en la bibliografía en que la utilización de situaciones de velocidad asistida no debe producir efectos adversos en la técnica de carrera de los deportistas, es decir, las condiciones de SV deben modificar lo mínimo posible el patrón motriz individual de VMD de cada individuo, pues eso podría significar pérdida de especificidad del entrenamiento, así como podría perjudicarles cuando vuelvan a correr en condiciones no asistidas (Sedláček et al., 2015). No debe perderse de vista que el objetivo último de la utilización de condiciones de SV en el entrenamiento es la mejora de la VMD después de periodos de entrenamiento, por tanto, conseguir mejoras crónicas o adaptaciones que permitan al deportista correr más rápido después de someterse a dichos estímulos (Schiffer, 2011; Sedláček et al., 2015).

Ebben (2008) con 13 deportistas masculinos universitarios y Ebben et al. (2008) con 44 deportistas masculinos universitarios analizan los efectos de correr cuesta abajo en cinco niveles diferentes de bajada sobre la aceleración en 10 yardas (Ebben, 2008) y la VMD en 40 yardas (Ebben, 2008; Ebben et al., 2008). En ambos estudios afirman que la pendiente óptima es la correspondiente a un desnivel de bajada de 5,8° y que el desnivel

de 6,9° es excesivo. No obstante, sólo argumentan esta decisión en el incremento de VMD, que va en aumento progresivo hasta los 5,8° y decrece en 6,9°. Como limitación de ambos estudios exponemos que se ha realizado exclusivamente con deportistas masculinos, con lo que no sabemos si esos desniveles serían útiles para mujeres. Además, esas recomendaciones tampoco permiten saber si serían replicables a otros sujetos de estudio, pues el criterio recomendado hace referencia al medio, y no a las características del sujeto.

Por su parte, Clark et al. (2009) analizan los efectos de cuatro magnitudes diferentes de arrastre mediante gomas elásticas enganchadas a la cintura en diez atletas (seis chicos y cuatro chicas). La combinación de gomas utilizadas produjo diferentes fuerzas de arrastre que los autores expresan en porcentaje del peso corporal de los atletas en dos momentos, en el inicio de la carrera y en el momento de la recogida de los datos biomecánicos, pues a medida que el atleta avanza en su desplazamiento, las gomas van perdiendo capacidad elástica y, por consiguiente, de arrastre. Los valores expresados fueron, en el momento de la recogida de datos, de 2,00%, 2,79%, 3,77% y 4,69% del peso corporal de los atletas, sin hacer distinción entre hombres y mujeres. Además, en este estudio se recogieron datos de variables cinemáticas (AP, FP, DH, TC, TV) y biomecánicas en el momento del contacto del pie con el suelo (ángulos de cadera, rodilla, tobillo, tibia) para compararlos entre las condiciones de VMD y las de SV. Teniendo en cuenta estos factores relacionados con la técnica de carrera, los autores concluyen que deberían utilizarse cargas entre el 2,00% y el 3,77% del peso corporal, en los sujetos analizados, mostrando que la carga de entrenamiento del 4,69% puede considerarse excesiva, sobre todo relacionándolo con la DH en el momento del contacto con el suelo. Si bien este estudio aporta datos relativos al peso corporal de los participantes en el estudio, tanto de chicos como de chicas, no diferencia entre sexos en el momento de dar los resultados ni de exponer las recomendaciones.

Por último, dos estudios analizan los efectos de diferentes cargas de entrenamiento de SV con SA motorizado, en este caso el Dynaspeed. En su primera comunicación, Van den Tillaar (2018), en once velocistas masculinos experimentados, analiza los efectos de tres cargas (3kg, 4kg y 5kg). Si bien el autor no expresa en porcentaje de peso corporal dichas cargas, se pueden transformar a partir del peso que nos dan en las características antropométricas de la muestra, siendo del 4,01%, 5,35% y 6,68% respectivamente. En dicho estudio se analizan también datos cinemáticos (AP, FP, TC, TV) y los resultados

muestran que sólo aparecen diferencias significativas entre las condiciones de VMD y las asistidas en AP. A partir de la relación entre sus hallazgos, recomiendan la utilización de la carga de 5kg para su utilización en periodos de entrenamiento para poder superar la barrera de velocidad de los atletas. En este primer estudio, sólo se aportan datos de velocistas masculinos, lo que sería una limitación, pero, en un estudio posterior (Van den Tillaar, 2021) amplía el estudio a doce velocistas de cada sexo. Las cargas utilizadas en el estudio son las mismas en valores absolutos (3kg, 4kg y 5kg) y representan valores porcentuales del peso corporal de 4,03%, 5,37% y 6,71% para los hombres y de 4,94%, 6,59% y 8,25% para las mujeres. El autor destaca que las cargas asistidas produjeron mayor AP y TC y menor TV en los hombres que en las mujeres, pero que el efecto relativo de estas cargas fue superior en las mujeres. Compartimos con el autor que esto puede ser debido a que las cargas relativas al peso corporal también son superiores en las mujeres que en los hombres, por lo que deberían compararse cargas iguales en términos relativos, no absolutos. En sus conclusiones, el autor destaca que las cargas a utilizar estarían entre los 4kg y 5kg dependiendo del sexo, las características antropométricas y el nivel deportivo.

Nuestro segundo estudio (Cecilia-Gallego et al., 2022b) presenta muchas similitudes con estos últimos (Van den Tillaar, 2021, 2018), y también algunas diferencias notorias. En primer lugar, el dispositivo utilizado no es el mismo, pues nosotros empleamos el 1080 Speed en vez del Dynaspeed. No obstante, el funcionamiento y selección de las cargas es muy similar en ambos, ofreciendo, también los dos, asistencia de manera isotónica durante toda la asistencia. En cuanto a los resultados, podemos ver que, una vez analizados, nuestra recomendación es la utilización de cargas de asistencia algo más ligeras, tanto en términos absolutos, entre 2kg y 4kg, como relativos al peso corporal y sexo, entre 3,65% y 7,31% para las chicas y entre 3,17% y 6,35% para los chicos. Esta diferencia en la recomendación de las cargas podría atribuirse, tal como también apunta Van den Tillaar (2021, 2018), a las diferencias entre las muestras. En el caso de nuestro estudio, los participantes eran de menor edad, menor nivel deportivo y aparecían también diferencias antropométricas.

Esto nos lleva a poder establecer algunas conclusiones importantes en este apartado: 1) los SA motorizados son el futuro (presente) para poder analizar tanto los efectos agudos como del entrenamiento de SV; 2) es necesario realizar muchas experiencias como las descritas en nuestro artículo (Cecilia-Gallego et al., 2022b) y los de Van den Tillaar

(2021, 2018) o incluso el de Clark et al. (2021), aunque con sólo una carga, para poder sistematizar el conocimiento de los efectos de las cargas asistidas y compartirlo con los entrenadores; 3) los efectos de las condiciones de SV en el aumento de la VMD deben ser siempre comparadas en relación a los efectos en las características cinemáticas y biomecánicas de los atletas, buscando no afectar en exceso el patrón motriz de los atletas en su técnica de carrera de velocidad. Hay que destacar que, en esta línea, las nuevas versiones de los dispositivos comentados ya ofrecen la posibilidad de conocer datos de las principales variables cinemáticas analizadas en la bibliografía, como son la AP, la FP, el TV y el TC.

6.3. Efectos de programas de entrenamiento de súper velocidad

Como se ha comentado ya ampliamente, el entrenamiento de SV en sus diferentes modalidades y con diferentes medios y métodos, es muy utilizado en el ámbito deportivo con diferentes objetivos, siendo el prioritario el desarrollo de la VMD, llevando al atleta más allá de su barrera de velocidad. También, como ya se ha referido, la evidencia sobre los efectos de los programas de entrenamiento es totalmente insuficiente para poder afirmar que es un método efectivo para los objetivos con los que se utiliza.

Algunos estudios han analizado los efectos de programas de entrenamiento de SV sobre la VMD con diferentes medios y métodos (Kristensen et al., 2006; Majdell y Alexander, 1991; Paradisis y Cooke, 2006; Stoyanov, 2019; Wibowo et al., 2017). Como sucede en los estudios que analizan los efectos agudos de las condiciones de SV, resulta imposible sacar conclusiones pues las condiciones de los estudios difieren tanto en aspectos de los participantes como el sexo, el deporte practicado, el nivel de los deportistas, la edad y experiencia de estos; como en la metodología de recogida y análisis de datos y de las condiciones de exposición a SV. No son más que experiencias aisladas que no permiten extrapolar resultados más allá del propio estudio.

Por nuestra parte, en el tercer artículo, en fase de revisión, hemos intentado hacer una propuesta de entrenamiento de SV con SA motorizado, en este caso el 1080 Sprint.

En esta línea, hemos desarrollado una propuesta metodológica basada en la individualidad y en la relación entre el efecto deseado y el efecto conseguido por las cargas de entrenamiento. Por este motivo, las cargas elegidas para la primera sesión fueron determinadas a partir de dos sesiones de familiarización y una sesión de tests con tres

cargas diferentes. La carga elegida para la primera sesión fue aquella que, aproximadamente daba unas velocidades supramáximas de entre el 103% y el 105%. A partir de los resultados obtenidos, la carga se ajustaba intra e intersesión para conseguir ese objetivo del 103-105% de la VMD. Además, al principio de cada sesión se realizó una repetición de 30 metros lanzado sin asistencia que nos daba información del estado en que se encontraba cada atleta cada día, para poder ajustar mejor las cargas de entrenamiento. Desde nuestro conocimiento, ningún estudio ha realizado estos ajustes ni intra ni intersesión para adaptarse al objetivo propuesto, es decir, intentar ajustar la carga externa propuesta con la carga interna que le pueda suponer al deportista, o al menos con el rendimiento. Hemos de tener en cuenta que esta intervención se realizó dentro de la planificación de los atletas, en el mesociclo precompetitivo de pista cubierta, de manera integrada en sus entrenamientos. En esta línea, sí que encontramos algunos estudios (Lahti et al., 2020; Stoyanov, 2019) que han hecho intervenciones dentro de los ciclos de entrenamiento y no en propuestas más analíticas (Kristensen et al., 2006; Majdell y Alexander, 1991), es decir de manera integrada. Aunque tenemos claro que es más complicado de realizar de esta manera, por la confusión que pueden producir en los resultados las otras variables del entrenamiento, creemos que aporta una información más real y, sobre todo, más aplicable para los entrenadores y preparadores físicos.

Por otra parte, como el objetivo principal era conseguir mejorar la VMD, decidimos, aprovechando las características del dispositivo, no aplicar asistencia en los primeros 20 metros. De esta manera se buscó que el deportista acelerara mediante sus propias capacidades durante los primeros 20 metros y recibió asistencia durante los siguientes 30. El estudio de Van den Tillaar (2021), que analiza las diferencias entre la VMD sin asistencia y con asistencia mediante Dynaspeed sobre un total de 60 metros, nos muestra que no aparecen diferencias significativas entre las condiciones asistidas y las no asistidas en la llamada primera transición de la aceleración (Nagahara et al., 2014), que, según deportistas y nivel, puede ir desde los 15 metros hasta los 28-32 metros. El efecto de la asistencia en la aceleración, no obstante, es un poco mayor en las mujeres que en los hombres (Van den Tillaar, 2021), posiblemente debido al menor peso corporal absoluto y mayor relativo a las cargas de éstas. El autor argumenta una posible explicación a esta menor influencia de la asistencia en la primera fase de la aceleración a una posición más inclinada del cuerpo y a que el apoyo en esta fase se sitúa adelantado respecto al centro de gravedad (Van den Tillaar, 2021). No obstante, sería interesante poder replicar esta

intervención con dos grupos, uno que no recibiera asistencia durante los primeros 20 metros y otro que sí la recibiera.

Por último, metodológicamente, en cuanto a la duración de la intervención, esta fue de 5 semanas, incluyendo 10 sesiones por participante, de entre 6-8 repeticiones por sesión, con 48-72h de recuperación entre sesiones y 8-10 minutos de recuperación entre repeticiones. La duración de esta intervención está en línea con la de otros estudios previos, entre las 4 y las 8 semanas (Kristensen et al., 2006; Lahti et al., 2020; Majdell y Alexander, 1991; Stoyanov, 2019; Wibowo et al., 2017). No obstante, todas estas intervenciones están dentro de la denominada fase inicial del entrenamiento o *early phase of training* (Kristensen et al., 2006), donde la mayoría de las adaptaciones producidas serán de carácter neural y coordinativo. Deberían realizarse intervenciones más largas para poder analizar si el entrenamiento de SV puede producir adaptaciones crónicas a otros niveles como fisiológico o epigenético.

Entrando ya en los resultados obtenidos después de la intervención, creemos que aquí debe hacerse especial énfasis en dos aspectos. El primero es la necesidad de analizar los resultados en el plano individual y, el segundo, es relativizar la magnitud de los cambios más allá de la significación estadística.

En el primer apartado, la mayoría de los estudios analizados ofrecen los resultados de manera global, en promedios y desviaciones estándar de los grupos analizados (Majdell y Alexander, 1991; Stoyanov, 2019; Van den Tillaar, 2021, 2018), sin la posibilidad de analizar los posibles cambios a nivel individual. En el caso de nuestro estudio, vemos que, tras la intervención, la VMD experimentó un incremento, no significativo, del 2,94%, pasando de $8,10 \pm 0,53$ m/s a $8,33 \pm 0,57$ m/s. Por tanto, este incremento no podría hacerse extensible a poblaciones más amplias, pero, si analizamos en relación con el rendimiento deportivo los resultados a nivel individual, vemos como cuatro de los atletas mejoran y dos no lo hacen en los tests pre y post intervención como podemos ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados individuales y porcentaje de cambio pre y post intervención en la velocidad máxima de desplazamiento.

Atleta	V5m_V0_PRE	V5m_V0_POST	Dif%Pre-Post
F1	8,03	8,02	-0,12
F2	7,21	7,66	+5,87
M1	8,63	8,76	+1,48
F3	8,28	8,91	+7,07
F4	7,85	7,81	-0,51
M2	8,60	8,85	+2,82

F: femenino; M: masculino; V5m: velocidad máxima de desplazamiento en 5 metros lanzados; V0: sin asistencia de súper velocidad.

Las causas por las que unos atletas responden de manera diferente pueden tener diferentes orígenes, pues el rendimiento de velocidad es multifactorial (Swinton et al., 2022). Entre ellas podemos encontrar que no todos los deportistas responden igual al mismo tipo de estímulo, clasificándolos en la bibliografía como respondedores (*responders*) o no respondedores (*non responders*) (Mann et al., 2014; Pickering y Kiely, 2019). El hecho de dividirlos según esta clasificación, pone el foco de atención sobre el deportista, como si fuera capaz o incapaz de responder a un tipo de entrenamiento en la dirección deseada (Lahti, et al., 2020), pero, posiblemente, el problema no radique en el deportista, si no el tratamiento y en las cargas de entrenamiento utilizadas (Pickering y Kiely, 2019). Por este motivo, es posible que si un sujeto no mejora en la dirección deseada, si se le expone a otro tratamiento de diferentes características y con diferentes cargas de entrenamiento, pero con el mismo objetivo, sí cambie su prestación en la dirección deseada (Pickering et al., 2017; Pickering y Kiely, 2019). Por otra parte, también es posible que los resultados se vean alterados en la recolección de datos por factores ambientales o por las condiciones física y/o emocionales de los sujetos de los o de los dispositivos utilizados estudios en el momento de la realización de las pruebas (Mann et al., 2014; Pickering y Kiely, 2019). También podemos exponer como limitación de este estudio la no realización de tests de seguimiento o *follow-up* para ver como los deportistas evolucionaban en sus prestaciones en las semanas siguientes, como se ha hecho en algunos estudios (Bissas et al., 2022; Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020)

Creemos que es relevante en este apartado remarcar que, en nuestro estudio, realizamos al inicio de cada sesión una repetición de 30 metros lanzados sin asistencia, pero con el atleta enganchado al 1080 Sprint. A estos resultados se les llamó variable V30m y ofrece unos datos para tener en cuenta. En la Tabla 2 podemos ver la variación individual de los valores de V30m.

Tabla 2. Variación individual de los valores de la variable V30m durante las sesiones de la intervención.

Atleta	Vel_S1	Vel_S2	Vel_S3	Vel_S4	Vel_S5	Vel_S6	Vel_S7	Vel_S8	Vel_S9	Vel_S10	MMP
F1	7,99	7,93	8,01	7,95	7,74	7,81	8,13	8,01	8,03	8,29	8,29
F2	7,28	7,44	7,13	7,40	7,50	7,44	7,47	7,64	7,47	7,87	7,87
M1	8,56	8,73	8,39	8,53	8,32	8,28	8,46	8,41	8,40	8,75	8,75
F3	8,25	8,39	8,29	8,27	8,31	8,05	8,17	8,35	8,35	8,44	8,44
F4	7,87	7,76	7,59	7,66	7,64	7,32	7,72	7,72	7,43	8,04	8,04
M2	8,38	8,58	8,39	8,46	8,41	8,41	8,70	8,79	8,70	sd	8,79

F: femenino; M: masculino; Vel_S: velocidad (m/s) en la variable V30m en cada sesión; MMP: mejor marca personal en la variable V30m (m/s) durante toda la intervención; sd: sin datos.

Si se analizan los datos en el conjunto de la muestra, sólo existen diferencias significativas entre la sesión 1 y la sesión 6, con valores inferiores de VMD y entre la sesión 1 y la sesión 10, con valores superiores de VMD. A nivel individual, se puede ver como cada atleta presenta un patrón diferente, pero la tendencia es, a excepción del sujeto M2, a bajar en el rendimiento para posteriormente subir y conseguir su mayor VMD en la última sesión de entrenamiento, excepto también para el sujeto M2, del que no tenemos datos de la última sesión por problemas con el dispositivo que no registró el intento. A partir de estos datos, se podría argumentar que al principio los atletas no dominan la situación de SV con el SA y que, a medida que avanza la intervención y se familiarizan, son capaces de correr más rápido. Vemos como también los sujetos F1 y F4, que son los que no mejoran en los tests pre – post, sí que mejoran su VMD durante la intervención en 30 metros lanzados. Desde el punto de vista del entrenador y del rendimiento deportivo en las pruebas de competición, estos incrementos de VMD son muy relevantes, aunque por los datos obtenidos no puedan ser exclusivamente atribuibles a la intervención y no sean extrapolables a otras muestras.

Esto nos lleva al segundo apartado para tener en cuenta, el de la relativización de la magnitud de los cambios cuando se habla de rendimiento deportivo. En el caso de las especialidades del sector de velocidad en atletismo, como apuntan Loturco et al. (2022), las diferencias de rendimiento entre conseguir una mínima de participación, entrar en una final o conseguir una medalla va de una centésima de segundo y, además, el porcentaje de cambio de rendimiento de los velocistas es muy bajo porcentualmente, tanto dentro de una misma temporada (Haugen et al., 2018) como en la vida deportiva de los velocistas (Haugen et al., 2015). Es por esto que los cambios mínimos relevantes en las disciplinas de velocidad del atletismo difícilmente serán considerados estadísticamente significativos (Loturco et al., 2022). En un reciente artículo (Swinton et al., 2022) se aporta información muy relevante para el análisis de los resultados de los estudios sobre rendimiento deportivo, haciendo especial énfasis en que, dependiendo de las variables estudiadas, los TE deben reconsiderarse, pues los incrementos porcentuales son muy diferentes en función de esas variables. En el caso del rendimiento en el esprint, los autores (Swinton et al., 2022) hacen una nueva propuesta de umbrales para el TE con valores de 0,07 (95% IC: 0,04 – 0,10) para un TE pequeño; de 0,37 (95% IC: 0,33 – 0,40) para un TE mediano y de 0,70 (95% IC: 0,6 – 0,74) para un TE grande, que corresponderían con incrementos porcentuales del 0,4% (95% IC: 0,2 – 0,6) para un TE pequeño; del 2,2% (95% IC: 2,1 – 2,4) para un TE mediano y del 4,5% (95% IC: 4,2 – 4,8) para un TE grande. Además, el citado estudio pone de relieve que, en el ámbito del rendimiento deportivo, es muy común el uso de muestras muy pequeñas y por conveniencia, muchas veces de un solo grupo de entrenamiento y sin grupo control (Swinton et al., 2022). Basándonos en estos datos y en las características de nuestra muestra, vemos que los resultados obtenidos en nuestro estudio preliminar estarían dentro de un TE mediano ($d: 0,89$; 95% IC: $-0,10 - 1,82$) con incrementos porcentuales del 2,94% (95% IC: 0,25 – 5,62) por lo que podrían tenerse en cuenta, en el plano individual, sobre todo, para considerar el entrenamiento de SV con SA motorizado como un buen método de entrenamiento para la mejora de la VMD, sin dejar de vista nunca que es un estudio que debería replicarse con más sujetos. Además, como afirman Loturco et al. (2022), estos cambios no significativos estadísticamente pueden representar cambios muy importantes en el potencial y rendimiento competitivo de los atletas de velocidad.

7. Conclusiones generales y posibles líneas de investigación

De acuerdo con la literatura científica que ha precedido este trabajo y nuestra experiencia, los actuales SA motorizados son la mejor opción para crear condiciones de SV que puedan ser aplicables, replicables y con una gran capacidad para recoger información de los resultados obtenidos.

Es necesaria la utilización extensiva de estos dispositivos en entrenamientos e investigación para poder extraer conclusiones sobre los efectos reales de las condiciones de SV en la mejora de la VMD como objetivo final de este tipo de entrenamientos.

La familiarización con los dispositivos y el análisis previo e individualizado de los efectos agudos de las condiciones de SV sobre cada atleta es imprescindible antes de empezar cualquier tipo de entrenamiento.

El análisis de los efectos agudos de las condiciones de SV no debe basarse exclusivamente en el cambio en la VMD, sino que debe tener en cuenta cómo afecta a los parámetros biomecánicos y cinemáticos del patrón motriz de carrera de velocidad de cada atleta.

En el presente trabajo no se realizaron análisis de cambios en respuestas fisiológicas asociadas al entrenamiento de SV. La inclusión de estudios moleculares y fisiológicos para contrastar los cambios mecánicos producidos por el propio estímulo podrían ayudar a conocer mejor el estímulo provocado por la SV y así modelar la ciencia teórica.

Es imprescindible establecer un criterio de referencia para la prescripción y dosificación de las cargas de entrenamiento de SV, que posiblemente pueda ser un porcentaje relativo al peso corporal del atleta, una vez se consigan tener suficientes datos de deportistas de diferente especialidad, sexo o nivel competitivo.

Los estudios con intervención mediante periodos de entrenamiento de SV con sistema de arrastre motorizado, en el futuro, deberían poder arrojar datos de los posibles cambios ocurridos, no sólo en términos de rendimiento sobre la VMD, si no también sobre los mecanismos responsables de esos cambios, mediante utilización de tecnologías como la electromiografía o las plataformas de fuerza.

Las intervenciones que se realicen en estas condiciones de SV deberían ser de mayor duración para poder determinar si los efectos no han sido fruto de mejoras neurales y coordinativas o del aprendizaje de la tarea.

Son necesarios muchos más estudios con velocistas de alto nivel, pues la mayoría de los estudios publicados en la literatura se han realizado con personas poco o no entrenadas o de otros deportes, aun entendiendo la dificultad de acceder a este tipo de muestras, poco proclives a participar en este tipo de experimentos.

Si bien en la bibliografía se recomienda no utilizar estos medios de entrenamiento en personas jóvenes, poco formadas condicionalmente o con un patrón motriz de carrera inestable, sería interesante aplicar condiciones de SV con la adecuada prescripción y dosificación en edades prepuberales para poder investigar si este tipo de intervención puede mejorar el que, tradicionalmente, ha sido el objetivo de la súper velocidad, la frecuencia de paso o velocidad gestual.

8. Referencias

- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653–676. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.07.002>
- Bartolini, J. A., Brown, L. E., Coburn, J. W., Judelson, D. A., Spiering, B. A., Aguirre, N. W., ... & Harris, K. B. (2011). Optimal elastic cord assistance for sprinting in collegiate women soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(5), 1263–1270.
- Baxter-Jones, A. D. G., Eisenmann, J. C., & Sherar, L. B. (2005). Controlling for maturation in pediatric exercise science. *Pediatric Exercise Science*, 17(1), 18–30. <https://doi.org/10.1123/pes.17.1.18>
- Behm, D. G. (1995). Neuromuscular implications and applications of resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 9(4), 264–274. <https://doi.org/10.1519/00124278-199511000-00014>
- Bezodis, N. E., Willwacher, S., & Salo, A. I. T. (2019). The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review. *Sports Medicine*, 49(9), 1345–1364. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01138-1>
- Bissas, A., Paradisis, G. P., Nicholson, G., Walker, J., Hanley, B., Havenetidis, K., & Cooke, C. B. (2022). Development and maintenance of sprint training adaptations: an uphill-downhill study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(1), 90–98. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003409>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470743386>
- Bosco, C., & Vittori, C. (1986). Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. *New Studies in Athletics*, 1(1), 39–45.
- Botella Ausina, J., & Sánchez-Meca, J. (2015). *Meta-análisis en ciencias sociales y de la salud*. Síntesis.
- Buscà, B.; Quintana, M.; Padullés-Riu, J. M. (2016). High-speed cameras in sport and exercise: Practical applications in sports training and performance analysis. *Aloma: Revista de Psicologia, Ciències de l'educació i de l'esport Blanquerna*, 34(2), 11–24. <https://raco.cat/index.php/Aloma/article/view/315257>
- Cecilia-Gallego, P., Odriozola, A., Beltran-Garrido, J. V., & Alvarez-Herms, J. (2022). Acute effects of different overspeed loads with motorized towing system in young

- athletes: a pilot study. *Biology*, 11(8), 1223.
<https://doi.org/10.3390/biology11081223>
- Cecilia-Gallego, P., Odriozola, A., Beltran-Garrido, J. V., & Álvarez-Herms, J. (2022). Acute effects of overspeed stimuli with towing system on athletic sprint performance: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 40(6), 704–716. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2015165>
- Cissik, J. M. (2005). Means and methods of speed training: Part II. *Strength and Conditioning Journal*, 27(1), 18–25. [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2005\)027<0018:mamost>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2005)027<0018:mamost>2.0.co;2)
- Clark, D. A., Sabick, M. B., Pfeiffer, R. P., Kuhlman, S. M., Knigge, N. A., & Shea, K. G. (2009). Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1162–1168. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194df84>
- Clark, K., Cahill, M., Korfist, C., & Whitacre, T. (2021). Acute kinematic effects of sprinting with motorized assistance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(7), 1856–1864. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003051>
- Colyer, S. L., & McGuigan, P. M. (2018). Textile electrodes embedded in clothing: A practical alternative to traditional surface electromyography when assessing muscle excitation during functional movements. *Journal of Sports Science and Medicine*.
- Colyer, S. L., Nagahara, R., & Salo, A. I. T. (2018). Kinetic demands of sprinting shift across the acceleration phase: Novel analysis of entire force waveforms. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(7), 1784–1792. <https://doi.org/10.1111/sms.13093>
- Colyer, S. L., Nagahara, R., Takai, Y., & Salo, A. I. T. (2018). How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: Waveform analysis of ground reaction forces. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(12), 2527–2535. <https://doi.org/10.1111/sms.13302>
- Colyer, S. L., Nagahara, R., Takai, Y., & Salo, A. I. T. (2020). The effect of biological maturity status on ground reaction force production during sprinting. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(8), 1387–1397. <https://doi.org/10.1111/sms.13680>
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R., & Doyle, T. L. A. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 131–144.

<https://doi.org/10.1123/ijssp.3.2.131>

- Corn, R.J.; Knudson, D. (2003). Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 72–75. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0072:EOECTO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0072:EOECTO>2.0.CO;2)
- Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7(2), 160–172. <https://doi.org/10.1080/14763140701841381>
- Ebben, W. P. (2008). The optimal downhill slope for acute overspeed running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 88–93. <https://doi.org/10.1123/ijssp.3.1.88>
- Ebben, W. P., Davies, J. A., & Clewien, R. W. (2008). Effect of the degree of hill slope on acute downhill running velocity and acceleration. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 898–902. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a4149>
- Esparza-Ros, F.; Vaquero-Cristóbal, R.; Marfell-Jones, M. (2019). Protocolo internacional para la valoración antropométrica. Perfil Completo. In UCAM (Ed.), *International Society for the Advancement of Kinanthropometry-ISAk*.
- Faccioni, A. (1992). Assisted and resisted methods for speed development. Part 1. *Strength Conditioning Coach*, 1, 10–11.
- Faccioni, A. (1994). Assisted and resisted methods for speed development. Part II. *Modern Athlete and Coach*, 32, 3–6.
- Finni, T., Hu, M., Kettunen, P., Vilavuo, T., Cheng, S., Colyer, S. L., & McGuigan, P. M. (2007). Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 28(11), 1405–1419. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/11/007>
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength and Conditioning Journal*, 30(5), 32–38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318187e25b>
- Hagger, M. S. (2006). Meta-analysis in sport and exercise research: Review, recent developments, and recommendations. *European Journal of Sport Science*, 6(2), 103–115. <https://doi.org/10.1080/17461390500528527>
- Haugen, T. A., Solberg, P. A., Foster, C., Morán-Navarro, R., Breitschädel, F., &

- Hopkins, W. G. (2018). Peak age and performance progression in World-Class track-and-field athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(9), 1122–1129. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0682>
- Haugen, T., Danielsen, J., Alnes, L. O., McGhie, D., Sandbakk, Ø., & Ettema, G. (2018). On the importance of ‘Front-Side Mechanics’ in athletics sprinting. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(4), 420–427. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0812>
- Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G. (2019). Sprint running: from fundamental mechanics to practice-a review. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(6), 1273–1287. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04139-0>
- Haugen, T., Seiler, S., Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E. (2019). The training and development of elite sprint performance: an integration of scientific and best practice literature. *Sports Medicine - Open*, *5*(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0221-0>
- Haugen, T., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2015). 9.58 and 10.49: nearing the citius end for 100 m? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(2), 269–272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0350>
- Hauschildt, M. D. (2010). Integrating high-speed treadmills into a traditional strength and conditioning program for speed and power sports. *Strength and Conditioning Journal*, *32*(2), 21–32. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181cadd9>
- Hicks, D. (2017). Resisted and assisted sprint training: Determining the transfer to maximal sprinting. *New Studies in Athletics*, *32*, 35–52.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Howard, R. M., Conway, R., & Harrison, A. J. (2018). Muscle activity in sprinting: a review. *Sports Biomechanics*, *17*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1252790>
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(2), 261–271. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113664.15777.53>
- Jakalski, K. (2000). Parachutes, tubing and towing. In J. Jarver (Ed.), *Sprints and relays: Contemporary theory, technique and trainin* (5th ed., pp. 95–100). Tafnews Press.

- Kivi, D. M. R., Maraj, B. K. V., & Gervais, P. (2002). A kinematic analysis of high-speed treadmill sprinting over a range of velocities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 662–666. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11932576>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting Intraclass Correlation Coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Kratky, S., Müller, E., Kratky, S., & Müller, E. (2012). Sprint running with a body-weight supporting kite reduces ground contact time in well-trained sprinters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1215–1222. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182654a30>
- Kristensen, G. O., van den Tillaar, R., & Ettema, G. J. C. (2006). Velocity specificity in early-phase sprint training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 833–837. <https://doi.org/10.1519/R-17805.1>
- Lahti, J., Huuhka, T., Romero, V., Bezodis, I., Morin, J.-B., & Häkkinen, K. (2020). Changes in sprint performance and sagittal plane kinematics after heavy resisted sprint training in professional soccer players. *PeerJ*, 8, e10507. <https://doi.org/10.7717/peerj.10507>
- Lahti, J., Jiménez-Reyes, P., Cross, M. R., Samozino, P., Chassaing, P., Simond-Cote, B., Ahtiainen, J., & Morin, J.-B. (2020). Individual sprint Force-Velocity profile adaptations to in-season assisted and resisted velocity-based training in professional rugby. *Sports*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/sports8050074>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4(NOV), 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Leblanc, J. S., & Gervais, P. L. (2004). Kinematics of assisted and resisted sprinting as compared to normal free sprinting in training athletes. *Proceedings of the XXII ISBS Congress, 1987*, 536–540.
- Leyva, W. D., Wong, M. A., & Brown, L. E. (2017). Resisted and assisted training for sprint speed: A brief review. *Journal of Physical Fitness, Medicine and Treatment in Sports*, 1(1), 1–6.
- Linthorne, N. P. (1994). The effect of wind on 100-m sprint times. *Journal of Applied Biomechanics*, 10(2), 110–131. <https://doi.org/10.1123/jab.10.2.110>
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*,

34(3), 61–72.

- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., Croix, M. B. A. D. S., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., & Thomas, D. P. (2015a). Long-term athletic development-part 1: a pathway for all youth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1439–1450.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., Croix, M. B. A. D. S., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., & Thomas, D. P. (2015b). Long-term athletic development, part 2: barriers to success and potential solutions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1451–1464.
- Loturco, I., Fernandes, V., Bishop, C., Mercer, V. P., Siqueira, F., Nakaya, K., Pereira, L. A., & Haugen, T. (2022). Variations in physical and competitive performance of highly trained sprinters across an annual training season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004380>
- Majdell, R., & Alexander, M. (1991). The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J Human Move Stud*, 21(1), 19–39.
- Mann, T. N., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2014). High responders and low responders: factors associated with individual variation in response to standardized training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(8), 1113–1124. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0197-3>
- Mann, R. V., & Murphy, A. (2011). *The mechanics of sprinting and hurdling* (R. V. Mann (ed.)). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- McGuinness, L. A., & Higgins, J. P. T. (2020). Risk-of-bias VISualization (robvis): An R package and Shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. *Research Synthesis Methods*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/jrsm.1411>
- McMillan, S. (2018). *The ALTIS kinogram method*. www.Simplifaster.Com. <https://simplifaster.com/articles/altis-kinogram-method/>
- Mero, A., & Komi, P. V. (1985). Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *Journal of Applied Biomechanics*, 1(3), 240–252. <https://doi.org/10.1123/ijsb.1.3.240>
- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Medicine*, 13(6), 376–392. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213060-00002>
- Mero, A., & Komi, P. V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European*

- Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(5), 553–561.
<https://doi.org/10.1007/bf00421652>
- Mero, A., & Komi, P. V. (1987). Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from submaximal to supramaximal. *Med Sci Sports Exerc*, 19(3), 266–274.
<https://doi.org/10.1249/00005768-198706000-00014>
- Mero, A., Komi, P. V., Rusko, H., & Hirvonen, J. (1987). Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *International Journal of Sports Medicine*, 8 Suppl 1, 55–60. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025704>
- Mero, Antti, & Komi, P. V. (1990). Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1), 73–80.
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Cronin, J. B., & Lloyd, R. S. (2015). Maximal sprint speed in boys of increasing maturity. *Pediatric Exercise Science*, 27(1), 85–94. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0096>
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Lloyd, R. S., & Cronin, J. B. (2017). New insights into the development of maximal sprint speed in male youth. *Strength and Conditioning Journal*, 39(2), 2–10.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000290>
- Milloz, M., Hayes, K., & Harrison, A. J. (2021). Sprint start regulation in athletics: a critical review. *Sports Medicine*, 51(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01350-4>
- Mills, K., Baker, D., Pacey, V., Wollin, M., & Drew, M. K. (2017). What is the most accurate and reliable methodological approach for predicting peak height velocity in adolescents? A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(6), 572–577. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.10.012>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Plos One*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Monte, A., Muollo, V., Nardello, F., & Zamparo, P. (2017). Sprint running: how changes

- in step frequency affect running mechanics and leg spring behaviour at maximal speed. *Journal of Sports Sciences*, 35(4), 339–345. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1164336>
- Moran, J., Sandercock, G., Rumpf, M. C., & Parry, D. A. (2017). Variation in responses to sprint training in male youth athletes: A meta-analysis. *International Journal of Sports Medicine*, 38(1), 1–11. <https://doi.org/10.1055/s-0042-111439>
- Morin, J.-B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J.-R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921–3930. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2379-8>
- Morin, J.-B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1680–1688. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ea37>
- Morris, S. B. (2000). Distribution of the standardized mean change effect size for meta-analysis on repeated measures. *The British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 53 (Pt 1), 17–29. <https://doi.org/10.1348/000711000159150>
- Murtagh, C. F., Brownlee, T. E., Rienzi, E., Roquero, S., Moreno, S., Huertas, G., Lugiatorro, G., Baumert, P., Turner, D. C., Lee, D., Dickinson, P., Lyon, K. A., Sheikhsaraf, B., Biyik, B., O’Boyle, A., Morgans, R., Massey, A., Drust, B., & Erskine, R. M. (2020). The genetic profile of elite youth soccer players and its association with power and speed depends on maturity status. *PloS One*, 15(6), e0234458. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234458>
- Muthuraj, M. (2017). Effects of downhill sprint training on speed of school boys. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, 6, 4–6. <https://doi.org/10.26524/2017302>
- Nagahara, R., Matsubayashi, T., Matsuo, A., & Zushi, K. (2014). Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biology Open*, 3(8), 689–699. <https://doi.org/10.1242/bio.20148284>
- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2018). Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(2), 104–110. <https://doi.org/10.1123/jab.2016-0356>
- Nagahara, R., Naito, H., Morin, J. B., & Zushi, K. (2014). Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *International Journal of Sports*

- Medicine*, 35(9), 755–761. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1363252>
- Nagahara, Ryu, Haramura, M., Takai, Y., Oliver, J. L., Wichitaksorn, N., Sommerfield, L. M., & Cronin, J. B. (2019). Age-related differences in kinematics and kinetics of sprinting in young female. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(6), 800–807. <https://doi.org/10.1111/sms.13397>
- Padullés-Riu, J. M. (2011). *Valoración de los parámetros mecánicos de carrera. Desarrollo de un nuevo instrumento de medición*. University of Barcelona (UB).
- Pain, M. T. G., & Hibbs, A. (2007). Sprint starts and the minimum auditory reaction time. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 79–86.
- Papaiakovou, G., Giannakos, A., Michailidis, C., Patikas, D., Bassa, E., Kalopissis, V., Anthrakidis, N., & Kotzamanidis, C. (2009). The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2568–2573. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c0d8e>
- Paradisis, G. (2013). Reaction time and performance in the short sprints. *New Studies in Athletics*, 28(1/2), 95–103.
- Paradisis, G P, & Cooke, C. B. (2001). Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. *Journal of Sports Sciences*, 19(2), 149–159. <https://doi.org/10.1080/026404101300036370>
- Paradisis, Giorgos P., & Cooke, C. B. (2001). Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. *Journal of Sports Sciences*, 19(2), 149–159. <https://doi.org/10.1080/026404101300036370>
- Paradisis, Giorgos P., & Cooke, C. B. (2006). The effects of sprint running training on sloping surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 767–777.
- Pickering, Craig; Kiely, J. (2017). Understanding personalized training responses: can genetic assessment help? *The Open Sports Sciences Journal*, 10(1), 191–2013. <https://doi.org/10.2174/1875399X01710010191>
- Pickering, C., & Kiely, J. (2019). Do non-responders to exercise exist-and if so, what should we wo about them? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-01041-1>
- Pilianidis, T., Kasabalis, A., Mantzouranis, N., & Mavvidis, A. (2012). Start reaction time and performance at the sprint events in the Olympic Games. *Kinesiology*, 44(1), 67–72.
- Puig-Diví, A.; Padullés-Riu, J.M.; Busquets-Faciabén, A.; Padullés-Chando, X.;

- Escalona-Marfil, C.; Marcos-Ruiz, D. (2017). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angular and distance dimensions. *PrePrints*, 2017100042. <https://doi.org/10.20944/preprints201710.0042.v1>
- Reinking, M. F., Dugan, L., Ripple, N., Schleper, K., Scholz, H., Spadino, J., Stahl, C., & McPoil, T. G. (2018). Reliability of two-dimensional video-based running gait analysis. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(3), 453–461. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30038831>
- Romero-Franco, N., Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., Rodríguez-Juan, J. J., González-Hernández, J., Toscano-Bendala, F. J., Cuadrado-Peñañiel, V., & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *European Journal of Sport Science*, 17(4), 386–392. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1249031>
- Ross, A., Leveritt, M., & Riek, S. (2001). Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(6), 409–425. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131060-00002>
- Ross, R. E., Ratamess, N. A., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., Kang, J., & Chilakos, A. (2009). The effects of treadmill sprint training and resistance training on maximal running velocity and power. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 385–394. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181964a7a>
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Oliver, J., & Hughes, M. (2015). Kinematics and kinetics of maximum running speed in youth across maturity. *Pediatric Exercise Science*, 27(2), 277–284. <https://doi.org/10.1123/pes.2014-0064>
- Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B., & Jalilvand, F. (2016). Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: A brief review. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1767–1785. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001245>
- Rundqvist, H. C., Montelius, A., Osterlund, T., Norman, B., Esbjornsson, M., & Jansson, E. (2019). Acute sprint exercise transcriptome in human skeletal muscle. *PloS One*, 14(10), e0223024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223024>
- Salkind, N. J. (2010). *Encyclopedia of research design* (N. Salkind (ed.)). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412961288>
- Salo, A. I. T., Bezodis, I. N., Batterham, A. M., & Kerwin, D. G. (2011). Elite sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Medicine and Science*

- in *Sports and Exercise*, 43(6), 1055–1062.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318201f6f8>
- Schiffer, J. (2011). Training to overcome the speed plateau. *IAAF New Studies in Athletics*, 26, 7–16.
- Sedláček, J., Kostial, J., Kampmiller, T., & Dremmelová, I. (2004). The use of supramaximal speed means in sprinter training. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica.*, 34, 15–22.
- Sedláček, J., Krška, P., & Kostial, J. (2015). Use of supramaximal speed mean in maximal running speed depment. *Gymnasium. Scientific Journal of Education, Sports, and Health*, 16, 39–50. <https://gymnasium.ub.ro/index.php/journal/article/view/85>
- Sheppard, J. M. (2004). The use of resisted and assisted training methods for speed development: coaching considerations. *Modern Athlete and Coach*, 42(2), 9–13.
- Slawinski, J., Termoz, N., Rabita, G., Guilhem, G., Dorel, S., Morin, J.-B., & Samozino, P. (2017). How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(1), 45–54. <https://doi.org/10.1111/sms.12627>
- Sterne, J. A., Hernán, M. A., Reeves, B. C., Savović, J., Berkman, N. D., Viswanathan, M., Henry, D., Altman, D. G., Ansari, M. T., Boutron, I., Carpenter, J. R., Chan, A.-W., Churchill, R., Deeks, J. J., Hróbjartsson, A., Kirkham, J., Jüni, P., Loke, Y. K., Pigott, T. D., ... Higgins, J. P. (2016). ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 355, i4919. <https://doi.org/10.1136/bmj.i4919>
- Stoyanov, H. T. (2019). Effect of assisted training on the special running preparation of junior sprinters for 100 and 200 m. *Human. Sport. Medicine*, 19(3), 74–79. <https://doi.org/10.14529/hsm190309>
- Sugiura, Y., & Aoki, J. (2008). Effects of supramaximal running on stride frequency and stride length in sprinters. *Advances in Exercise & Sports Physiology*, 14(1), 9–17. <https://ci.nii.ac.jp/naid/110006781626/>
- Swinton, P. A., Burgess, K., Hall, A., Greig, L., Psyllas, J., Aspe, R., Maughan, P., & Murphy, A. (2022). Interpreting magnitude of change in strength and conditioning: Effect size selection, threshold values and Bayesian updating. *Journal of Sports Sciences*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2128548>
- Tabachnik, B. (1992). Strength training modalities: The speed chute. *Strength and Conditioning Journal*, 14(4), 75–80.

- Torrents, C. (2005). *La teoría de los sistemas dinámicos y el entrenamiento deportivo* [University of Barcelona]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/2897?show=full>
- Turner, A., Brazier, J., Bishop, C., Chavda, S., Cree, J., & Read, P. (2015). Data analysis for strength and conditioning coaches: Using Excel to analyze reliability, differences, and relationships. *Strength & Conditioning Journal*, 37(1), 76–83. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000113>
- Turner, A. N., Parmar, N., Jovanovski, A., & Hearne, G. (2021a). Assessing group-based changes in high-performance sport. Part 1: null hypothesis significance testing and the utility of p values. *Strength & Conditioning Journal*, 43(3), 112–116.
- Turner, A. N., Parmar, N., Jovanovski, A., & Hearne, G. (2021b). Assessing group-based changes in high-performance sport. Part 2: Effect sizes and embracing uncertainty through confidence intervals. *Strength & Conditioning Journal*, 43(4), 68–77.
- Tziortzis, S. (1991). *Effects of training methods in sprinting performance*. University of Athens, Greece.
- Upton, D. E. (2011). The effect of assisted and resisted sprint training on acceleration and velocity in Division IA female soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2645–2652. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318201be16>
- Van den Tillaar, R., & Gamble, P. (2018). Comparison of step-by-step kinematics and muscle activation of resisted, assisted, and unloaded 30-m sprints in sprinters. *Translational Sports Medicine*, 1(4), 151–159. <https://doi.org/10.1002/tsm2.27>
- Van den Tillaar, Roland. (2004). Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: a brief review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(2), 388–396. <https://doi.org/10.1519/R-12792.1>
- Van den Tillaar, Roland. (2021). Comparison of development of step-kinematics of assisted 60 m sprints with different pulling forces between experienced male and female sprinters. *Plos One*, 16(7), e0255302. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0255302>
- Van den Tillaar, Roland. (2018). Comparison of step-by-step kinematics of normal and assisted 60m sprints with different loads in experienced sprinters. *Proceedings of the 36th Conference of the International Society of Biomechanics in Sport.*, 142–145.
- Van den Tillaar, Roland, & Gamble, P. (2017). Comparison of step-by-step kinematics of resisted, normal and assisted 30 m sprints in experienced sprinters. *Proceedings of the 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sport.*, 452–455.

- Vicens-Bordas, J., Esteve, E., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Casals, M., Bandholm, T., Ishøi, L., Opar, D., Shield, A., & Thorborg, K. (2020). Performance changes during the off-season period in football players – Effects of age and previous hamstring injury. *Journal of Sports Sciences*, 38(21), 2489–2499. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1792160>
- von Lieres und Wilkau, H. C., Bezodis, N. E., Morin, J. B., Irwin, G., Simpson, S., & Bezodis, I. N. (2020). The importance of duration and magnitude of force application to sprint performance during the initial acceleration, transition and maximal velocity phases. *Journal of Sports Sciences*, 00(00), 2359–2366. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1785193>
- Ward-Smith, A. J. (1999). New insights into the effect of wind assistance on sprinting performance. *Journal of Sports Sciences*, 17(4), 325–334. <https://doi.org/10.1080/026404199366037>
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 89(5), 1991–1999. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.5.1991>
- Wibowo, R; Sidik, DZ; Hendrayana, Y. (2017). The impact of assisted sprinting training (As) and resisted sprinting training (Rs) in repetition method on improving sprint acceleration capabilities. *Jurnal Pendidikan Jasmani Dan Olahraga*, 2(1), 79–86. <https://doi.org/10.17509/jpjo.v2i1.7971>
- Wild, J., Bezodis, N. E., Blagrove, R. C., & Bezodis, I. N. (2011). A biomechanical comparison of accelerative and maximum velocity sprinting: specific strength training considerations. *Professional Strength and Conditioning*, 21, 23–37.
- World Athletics. (2022). *Competition rules*. [Www.Worldathletics.Org](https://www.worldathletics.org). <https://worldathletics.org/download/download?filename=117e4572-be07-4fee-a734-5b878420e525.pdf&urlslug=C1.1> - Competition Rules

9. Anexos

9.1. Anexo 1: Revisión sistemática con metaanálisis publicada en el Journal of Sports Sciences

Enlace a la publicación:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02640414.2021.2015165>

ACUTE EFFECTS OF OVERSPEED STIMULI WITH TOWING SYSTEM ON ATHLETIC SPRINT PERFORMANCE: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS.

Authors:

PAU CECILIA-GALLEGO^{1,2}, ADRIÁN ODRIOZOLA^{3,4,5}, JOSE VICENTE BELTRAN-GARRIDO^{1,6}, JESÚS ÁLVAREZ-HERMS^{3,4,5}

Affiliations:

¹*Health and Sport Sciences University School (EUSES), Rovira i Virgili University, Amposta, Spain.*

²*National Institute of Physical Education (INEFC), University of Barcelona, Barcelona, Spain.*

³*Sport Genomics Research Group, Department of Genetics, Physical Anthropology and Animal Physiology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country (UPV/EHU), Leioa, Spain.*

⁴*KDNA Genomics®, University of the Basque Country UPV/EHU, Joxe Mari Korta Research Center, Donostia-San Sebastián, Spain.*

⁵*Phymo® Lab, Physiology and Molecular laboratory. Spain.*

⁶*Department of Education and Specific Didactics, Faculty of Humanities and Social Sciences, Universitat Jaume I, 12071 Castellón de la Plana, Spain.*

Correspondence author:

Name: Pau Cecilia-Gallego

E-mail: pau.cecilia@euseste.es

Address: EUSES - C/ Sebastià Joan Arbó, 2, 43870 – Amposta, Tarragona (Spain).
+0034 977448093

ABSTRACT

Overspeed-based training is widely used to improve athletes' maximum running speed and towing systems are one of the most frequently employed methods for this purpose. However, the effectiveness of this modality has not been thoroughly determined. This review analyzes the acute effects of overspeed conditions with towing systems in sprinters. The articles were searched, analyzed and selected following the PRISMA methodology in the PubMed, SPORTDiscus and Google Scholar databases. Sixteen studies were included, with a total sample of 240 men and 56 women (14 to 31y; 1.73 to 1.82m; 66.2 to 77.0kg). The main acute responses found were: 1) an increase in maximum running speed (ES=1.54, large), stride length (ES=0.92, moderate), flight time (ES=0.28, small) and stride rate (ES=0.12, trivial); and, 2) a decrease in contact time (ES=0.57, small). However, analysis of the reported ground reaction forces and electromyography data did not provide enough consistent evidence to conclusively determine whether the changes are due to a greater muscular response of the athlete or the effect of the towing system. Future research should focus on studying the mechanisms responsible for the observed acute effects.

KEYWORDS:

Assisted sprint; supramaximal speed; overspeed overload; individualization.

INTRODUCTION

Maximal running speed (MRS) is a critical determinant of performance in athletics speed disciplines (K. Clark et al., 2021; T. Haugen, McGhie, et al., 2019; Leblanc & Gervais, 2004; A. Mero et al., 1992; Slawinski et al., 2017). Training protocols to improve speed performance are based on the principle of specificity. These may include the application of assisted and resisted forces during running (Faccioni, 1994; Hicks, 2017; Kristensen et al., 2006). The assisted and resisted method for speed implies a greater neuromuscular stimulus. However, the use of both methods must be carried out carefully in order not to impair running mechanics (Cissik, 2005; K. Clark et al., 2021; Faccioni, 1994; Hauschildt, 2010; Leyva et al., 2017).

Assisted speed methods, known as supramaximal speed or overspeed (OS), allow athletes to reach higher speeds than their MRS (K. Clark et al., 2021). These kinds of stimuli have been traditionally employed by sprinting coaches mainly because of a specific overload principle. This is achieved using a higher speed than the speed usually reached by the athlete without assistance (Roland Van den Tillaar, 2004). One important concept for speed athletes is the term “speed barrier”, which refers to the limit of velocity that an athlete could reach (Sedláček et al., 2004, 2015; R. Van den Tillaar & Gamble, 2018; Roland Van den Tillaar & Gamble, 2017). Hypothetically, OS training could help exceed this speed barrier and improve sprint performance acutely or in the long term when the stimulus is applied in a consistent and progressive manner (Cissik, 2005; Sedláček et al., 2015).

With OS, the increased requirements on the high nerve conduction velocity demand could cause neural adaptive responses, particularly in the best sprinters since they showed an increased proportion of active fast-twitch muscle volume (A. Mero & Komi, 1985). Therefore, OS training would be a functional way for sprinters to develop specific strength and increase MRS, producing a higher physiological stimulus on the neuromuscular system in comparison with normal sprint training (A. Ross et al., 2001; R. E. Ross et al., 2009). These changes produced in the nervous system by OS could adapt neuromuscular performance to a higher level (22).

OS training could be accomplished with different strategies such as downhill running (Ebben, 2008; G P Paradisis & Cooke, 2001), high-speed treadmill (Hauschildt, 2010) or using a towing system (TS). The TS consists of providing the athletes with external assistance that allows them to run faster than their MRS while being pulled in the direction they are running (D. A. Clark et al., 2009; K. Clark et al., 2021; Leblanc & Gervais, 2004).

This assistance can be provided by different means: a) by another person attached to a system of rubber bands or cords and pulleys that multiply forces (Corn, RJ; Knudson, 2003; Leblanc & Gervais, 2004; A. Mero & Komi, 1985; A Mero & Komi, 1986, 1987; Sedláček et al., 2004, 2015); b) by a rubber band or counterweight systems and pulleys with no participation of another person (9,54,55) and; c) by motorized systems (Bosco & Vittori, 1986; K. Clark et al., 2021; A Mero et al., 1987; Sugiura & Aoki, 2008; Roland Van den Tillaar, 2021, 2018). Motorized systems are usually controlled by a computer and consist on dragging the runner in the running direction using a cable and a motor. These forces can be adjusted more or less precisely depending on the device chosen. Normally, they are applied in a constant (isotonic) way to the runner, both during the flight phase and the contact phase (K. Clark et al., 2021; Sugiura & Aoki, 2008). The technical specifications of each TS as well as descriptive figures can be consulted in the studies included in this paper.

The literature states that exposure to OS stimuli may promote acute effects (Bosco & Vittori, 1986; D. A. Clark et al., 2009; K. Clark et al., 2021; Corn, RJ; Knudson, 2003; Leblanc & Gervais, 2004; A. Mero et al., 1992; Sedláček et al., 2015; Sugiura & Aoki, 2008; Roland Van den Tillaar, 2021, 2018) and may improve sprint performance in the long-term (Kristensen et al., 2006; Majdell & Alexander, 1991; Rumpf et al., 2016; Stoyanov, 2019). However, there is scant discussion as to which biomechanical, neuromuscular and physiological changes are encouraged by this type of training (Kristensen et al., 2006; Leblanc & Gervais, 2004). Moreover, it hasn't been possible to determine exactly if the main acute changes observed at the kinematic or biomechanical levels are due to greater muscle activation (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987; Sugiura & Aoki, 2008; R. Van den Tillaar & Gamble, 2018), to an increase in ground reaction forces (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987) or to the action of the system that drags the athlete forward (Leblanc & Gervais, 2004; Sedláček et al., 2015; Sugiura & Aoki, 2008).

The main aim of this review was to analyze the TS method among all OS methods, taking into account that it allows greater control in the quantification of the external traction load and that the stimulus may be adjusted individually for each athlete (K. Clark et al., 2021; Corn, RJ; Knudson, 2003; Sugiura & Aoki, 2008; Roland Van den Tillaar, 2018). In this regard, this review sought to establish methodological recommendations for possible OS with TS interventions. These recommendations may influence: a) the intensity of the OS with TS that allows the MRS to be exceeded without altering technical and biomechanical

patterns, with an impact on load customization; b) the use of TS systems that allow the OS conditions to be replicated in an exact manner and to obtain immediate performance feedback.

METHODS

Search strategy and data sources

The first search was conducted in June 2018 while the last search was carried out in August 2021. The following databases were used: PubMed, Google Scholar, and SPORTDiscus. Following the guidelines of each database, the search strategy used was: ([athletes OR players OR runners] AND [superspeed OR overspeed OR "supramaximal speed" OR "wind-assisted sprint" OR "assisted sprint" OR "elastic cord" OR downhill OR treadmill OR "towing sprint"]) AND [acceleration OR "maximal sprint speed" OR "maximal running velocity"]. Additionally, a manual search was performed using the bibliographies of the included articles with the aim of identifying additional studies.

Inclusion and exclusion criteria

This review included articles published in scientific journals in addition to congress and conference documents obtained from the aforementioned databases, with no date limits. Only studies developed with healthy individuals were taken into account. Only articles that met the following inclusion criteria were considered: 1) studies developed with sprinters; 2) studies with data on the effects of acute exposure to OS conditions with TS; 3) studies with data on the TS system and loads used; 4) studies with standardized measures of interest, mainly MRS, contact time (CT), flight time (FT), stride length (SL), and stride rate (SR).

Data extraction

The results of the database search were imported into the bibliographic management software (Mendeley Desktop version 1.19.4 for Windows) and duplicate copies were removed. Then, a rapid assessment was performed to analyze and discard articles based on titles and abstracts. Subsequently, articles with the potential to be included were read in full to determine whether they were suitable for inclusion in the review or not. The selection process applied to the articles screened was based on the selection of population types, types of intervention methods and types of variables analyzed.

The studies included in this review focused on the relationship between OS and the following variables: MRS, SL, SR, CT, FT, running or technical ability skills, data of electromyographic activity, ground reaction forces, spring constants or measures of

stiffness and metabolic data. Furthermore, the following relevant aspects were included to analyze the studies: title, authors, name and type of publication, sample size and characteristics, sample experimental protocol, training load, parameters and typology of the TS, results of each parameter, and between-group differences in the study that may be relevant for this review.

Statistical analysis

Jamovi for Mac (version 1.6.21; The Jamovi project (2021), Sidney, Australia, retrieved from <https://www.jamovi.org>) and Microsoft Excel for Mac (Microsoft Office 16.47.1; Microsoft Corporation, 2021) were used to carry out the meta-analysis.

A random-effects meta-analysis (Hagger, 2006) was performed to determine the overall effect of overspeed conditions for the different kinematic outcomes. The kinematic outcomes considered were: velocity increases (Δ vel), SL, SR, CT of the eccentric phase, CT of the concentric phase, CT of the concentric and eccentric phase and FT.

As all the included studies had within-subjects designs, the differences between overspeed conditions and maximal sprint conditions were expressed as effect sizes (ES) using the standardized mean change (Botella Ausina & Sánchez-Meca, 2015; Morris, 2000) with 95% confidence intervals (CI). Effect sizes were interpreted as: $< 0.2 = \text{trivial}$; $0.2-0.6 = \text{small}$; $0.6-1.2 = \text{moderate}$; $1.2-2.0 = \text{large}$; $> 2.0 = \text{very large}$ (Hopkins et al., 2009).

Heterogeneity between studies was evaluated with I^2 statistics and between-study variance with the tau-square (τ^2) (Borenstein et al., 2009). The magnitude of heterogeneity for results was classified according to the following scale: $< 25\%$ (low), $25-75\%$ (medium), and $> 75\%$ (high) (Borenstein et al., 2009). If the p value for the $\chi^2 < 0.1$, this indicated the presence of heterogeneity, with a τ^2 value > 1 suggesting the presence of substantial statistical heterogeneity (Borenstein et al., 2009).

Risk of bias assessment

To analyze the risk of bias, the studies included were assessed by two independent raters (PCG and JVVG), while disagreements were resolved by consultation with a third party (JAH). The 'Risk of Bias in Non-Randomized Studies - of Interventions (ROBINS-I)' tool was used (Sterne et al., 2016). The ROBINS-I includes signaling questions alongside free-text boxes within each of the seven domains of bias to facilitate the evaluations of the risk of bias. The first two domains address issues before the start of the interventions that are to be compared. The third domain addresses issues during the interventions. The other four domains address issues after the start of interventions. Each domain was

evaluated as: 1 - low risk of bias; 2 - moderate risk of bias; 3 - serious risk of bias; 4 - critical risk of bias; and, 5 - no information). The evaluations of the risks of bias were summarized across all studies included for each of the domains listed. The risk of bias assessment was plotted in Figure 3 using the *Robvis tool* (McGuinness & Higgins, 2020).

RESULTS

Search, screening and selection of results.

1,538 articles were found in the databases. In addition, a further 11 were added from the reference lists. Finally, 16 articles were included in this review. The complete process of article analysis, screening and selection is shown in Figure 1, following the ‘Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA)’ criteria (Moher et al., 2009).

**** PLEASE INSERT FIGURE 1 ABOUT HERE****

Description of studies included

Table 1 shows the characteristics of the articles included and the characteristics of the sample. A total of 296 subjects were included (240 men and 56 women), aged between 14 and 31 years old; measuring between 1.73m and 1.82m in height; and with a body mass between 66.2kg and 77.0kg.

**** PLEASE INSERT TABLE 1 ABOUT HERE****

Methods characteristics

The particularities of each study in the data collection protocol are available in Table 2. Of the 16 articles included, 10 used non-motorized TS with elastic cords or pulleys, exercised via the action of other people or counterweights, while 6 studies used different types of motorized TS.

****PLEASE INSERT TABLE 2 ABOUT HERE****

Results of the kinematic variables

Table 3 summarizes the results of the included studies on the kinematic variables (velocity increases, stride length, stride rate, eccentric contact time, concentric contact time, contact time and flight time).

****PLEASE INSERT TABLE 3 ABOUT HERE****

Running speed ability or technical data in overspeed with towing system

Only seven studies (D. A. Clark et al., 2009; K. Clark et al., 2021; Corn, RJ; Knudson, 2003; Leblanc & Gervais, 2004; A Mero & Komi, 1986, 1987; Sugiura & Aoki, 2008) analyzed how TS in OS affects technical or biomechanical factors comparing the athlete's technical model in conditions of maximum speed without OS and in OS with TS.

The horizontal distance between the start of contact and the vertical projection of the center of gravity increased significantly in OS with TS in: from 0.27m to 0.31m ($p<0.01$) in Mero et al. (A Mero et al., 1987); from 0.15m to 0.22m ($p<0.001$) in Corn and Knudson (Corn, RJ; Knudson, 2003), and from 0.41m to 0.43 m ($p=0.046$) in Clark et al. (D. A. Clark et al., 2009), with 4.7% body weight load. It non-significantly increased from 0.24m to 0.26m in Mero and Komi (A. Mero & Komi, 1985).

The study by Clark et al. (K. Clark et al., 2021) shows how displacement of the center of gravity during stride phases increased significantly in OS with TS, both during the contact phase (+3.7% $p<0.001$) and flight phase (+13.1% $p<0.001$). In terms of the angle of the hip at the point of contact, Clark et al. (D. A. Clark et al., 2009) found significant differences from -39° in the no towing condition to -49° ($p=0.044$) with a TS condition with a load equivalent to 4.7% of body weight.

Significant increases in supramaximal speed in the knee angle at the start of contact were reported in Mero and Komi (A. Mero & Komi, 1985) from 153° to 157° ($p<0.001$); in Mero et al. (A Mero et al., 1987) from 146° to 152° ($p<0.001$) and in Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008) from 154° to 161° ($p<0.01$). On the contrary, Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008) described that the knee angle significantly decreased at the end of contact from 161° to 157° ($p<0.01$).

The inclination of the ground shank was significantly reduced in OS with TS in Mero and Komi (A. Mero & Komi, 1985) from 89° to 87° ($p<0.05$) and in Mero et al. (A Mero et al., 1987) from 89° to 86° ($p<0.001$). However, the angle of the shank at the beginning of contact increased significantly in the study by Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008) from 8° to 10° ($p<0.05$). No other parameters analyzed in these studies showed significant

changes. The rest of the articles included in this review did not analyze biomechanical parameters related to the speed competition technique.

Electromyographic activity

Five studies included in this review recorded electromyographic (EMG) activity data during OS with TS (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987; Sugiura & Aoki, 2008; R. Van den Tillaar & Gamble, 2018). Mero and Komi (A Mero & Komi, 1986) reported significant increases in supra-maximal speed in EMG activity of the vastus lateralis and gastrocnemius muscles in the Men B (PB 100-m: 10.96 ± 0.19 s) group during the eccentric phase of contact ($p < 0.001$) and in the Women (PB 100-m: 12.22 ± 0.28 s) group in the concentric phase ($p < 0.05$) when compared to maximal speed. Another study by the same authors (A Mero & Komi, 1987) analyzed pre-activation EMG activity during contact, post-activation EMG activity, and minimum EMG activity in ten muscles (gastrocnemius, biceps femoris, gluteus maximum, rectus femoris and vastus lateralis in the first run and tibialis anterioris, latissimus dorsi, rectus abdominis, biceps brachii and triceps brachii in the second run). The study described how pre-activation of the five leg muscles increased significantly ($p < 0.001$) in all conditions, from submaximal to supramaximal, when MRS and OS were compared. Post-activation values of the five leg muscles decreased non-significantly in OS when comparing with MRS. No significant changes were noted in terms of minimum activity of the five leg muscles. Furthermore, another study by Mero et al. (A Mero et al., 1987) did not record changes in EMG activity in the five muscles assessed (gastrocnemius, vastus lateralis, biceps femoris, rectus femoris and gluteus maximus), neither during the contact phase nor during flight phase. The study by Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008) assessed EMG activity in the biceps femoris and rectus femoris in conditions of MRS and OS. In the analysis of two consecutive strides, the rectus femoris increased its activity ($121 \pm 13\%$ $p < 0.05$) in Flight 1 (from the moment one foot leaves the ground to the contact of the contralateral foot) ($p < 0.05$). However, the biceps femoris increased its activity ($121 \pm 23\%$ $p < 0.01$) in Flight 2 (from the moment the second foot leaves the ground to the first foot touching the ground again) ($p < 0.01$) in supramaximal speed. The EMG activity of the biceps femoris also decreased in the contact phase in OS ($88 \pm 7\%$ $p < 0.01$). Lastly, Van den Tillaar and Gamble (R. Van den Tillaar & Gamble, 2018), by measuring values step by step and only found significant differences ($p < 0.006$) in the increase in EMG activity for the biceps femoris and semimembranosus muscles in strides 1 to 4.

Ground reaction forces, spring constants and metabolic data

Three studies (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987) analyzed ground reaction forces (GRF) values with force platforms in OS conditions. To describe and analyze GRF, these studies divided the analysis of ground contact into the eccentric phase and the concentric phase. During the concentric phase, Mero and Komi (A Mero & Komi, 1986) demonstrated that the values of the average resultant force decreased non-significantly at supramaximal speed, while in another two studies (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1987) no changes were reported. Conversely, significant increases were noted during the eccentric phase. Mero and Komi (A Mero & Komi, 1986) described how GRF increased significantly ($p < 0.05$) in two groups, Women and Men A (PB 100-m: 10.62 ± 0.04 s), and non-significantly in the Men B group. Mero (A Mero et al., 1987) reported significant increases ($p < 0.01-0.001$) in the GRF parameters observed. This study also analyzed vertical force, reporting a significant increase ($p < 0.05-0.01$) in vertical force production, both in terms of maximum values and average values in supramaximal speed compared with maximal speed. Lastly, significant increases ($p < 0.001$) were observed in the production of the resulting average force in this phase (A Mero & Komi, 1987).

The only study that analyzed data on factors related to spring constants (or measures of stiffness) was the study by Mero and Komi (A Mero & Komi, 1986). During the eccentric phase, the values increased significantly as speed increased from submaximal to maximal but the values only significantly decreased in supramaximal speed in women ($p < 0.05$). During the concentric phase, no significant differences were observed.

Only Mero et al. (A Mero et al., 1987) reported post-repetition peak blood lactate and oxygen debt data to assess the anaerobic metabolism in OS conditions. They noted how the values analyzed in OS were significantly lower in comparison with maximal speed, 27.7% ($p < 0.001$) in peak blood lactate and 30.3% ($p < 0.01$) in oxygen debt.

Meta-analyses

Figure 2 shows the summary effect sizes and heterogeneity data of the meta-analyses performed for the different kinematic outcomes.

**** PLEASE INSERT FIGURE 2 ABOUT HERE****

Velocity increases. When analyzing the effects of overspeed conditions on Δ vel (Fig. 2 and Fig. 1 of supplementary materials), high levels of heterogeneity were observed amongst studies ($I^2 = 84.06\%$, $\tau^2 = 1.16$). Compared to the maximal sprint condition, Δ

vel was higher in the overspeed condition with moderate to very large effect (ES: 1.54, 95% CI [0.94, 2.14], $p < 0.001$). Sub-group analysis could not be performed due to insufficient degrees of freedom.

Step length. When analyzing the effects of overspeed conditions on SL (Fig. 2 and Fig. 2 of supplementary materials), medium levels of heterogeneity were observed amongst studies ($I^2 = 72.84\%$, $\tau^2 = 0.43$). Compared to the maximal sprint condition, SL was higher in the overspeed condition with small to large effect (ES: 0.92, 95% CI [0.57, 1.28], $p < 0.001$). Sub-group analysis could not be performed due to insufficient degrees of freedom.

Step rate. When analyzing the effects of overspeed conditions on SR (Fig. 2 and Fig. 3 of supplementary materials), low levels of heterogeneity were observed amongst studies ($I^2 = 0.00\%$, $\tau^2 = 0.00$). Compared to the maximal sprint condition, SR was higher and non-statistically significant in the overspeed condition with trivial to small effect (ES: 0.12, 95% CI [-0.01, 0.25], $p < 0.082$).

Contact time of the eccentric phase. When analyzing the effects of overspeed conditions on CT of the eccentric phase (Fig. 2 and Fig. 4 of supplementary materials), medium levels of heterogeneity were observed amongst studies ($I^2 = 34.87\%$, $\tau^2 = 0.33$). Compared to the maximal sprint condition, CT of the eccentric phase was lower and non-statistically significant in the overspeed condition, ranging from small and lower to small and higher effect (ES: -0.11, 95% CI [-0.50, 0.29], $p = 0.597$).

Contact time of the concentric phase. When analyzing the effects of overspeed conditions on CT of the concentric phase (Fig. 2 and Fig. 5 of supplementary materials), low levels of heterogeneity were observed amongst studies ($I^2 = 23.57\%$, $\tau^2 = 0.28$). Compared to the maximal sprint condition, CT of the concentric phase was lower in the overspeed condition with trivial to moderate effect (ES: -0.49, 95% CI [-0.89, -0.08], $p = 0.018$).

Contact time of concentric and eccentric phase. When analyzing the effects of overspeed conditions on CT of concentric and eccentric phase (Fig. 2 and Fig. 6 of supplementary materials), medium levels of heterogeneity were observed amongst studies ($I^2 = 34.51\%$, $\tau^2 = 0.06$). Compared to the maximal sprint condition, CT of concentric and eccentric phase was lower in the overspeed condition with small to moderate effect (ES: -0.57, 95% CI [-0.77, -0.37], $p < 0.001$).

Flight time. When analyzing the effects of overspeed conditions on FT (Fig. 2 and Fig. 7 of supplementary materials), medium levels of heterogeneity were observed amongst studies ($I^2 = 40.03\%$, $\tau^2 = 0.07$). Compared to the maximal sprint condition, FT was

higher in the overspeed condition with trivial to small effect (ES: 0.28, 95% CI [0.09, 0.48], $p = 0.004$).

Risk of bias

The results of the risk of bias assessment are presented in Figure 3. Moderate bias was found regarding confounding factors inherent to lack of randomization, as well as the blinding of outcome assessors and participants.

**** PLEASE INSERT FIGURE 3 ABOUT HERE****

DISCUSSION

The aim of this systematic review with meta-analysis was to summarize and analyze the existing studies available among the scientific literature regarding exposure to acute effects of OS with TS in sprinters and describe how it affects different kinematic, biomechanical, and neuromuscular parameters. The different methods used to create the OS conditions were also synthesized in terms of the type of TS, the magnitude of the overload used, and data collection conditions. The results show us that, although OS with TS improves the MRS acutely of an athlete, it is not possible to accurately determine the potential mechanisms responsible for the reported changes. Mainly, it cannot be assured that this is due to a greater muscular action or to the action of the device that pulls the athlete forward. Furthermore, the great diversity of the TS and the lack of standardization of the methodologies and overloads used do not allow us to conclude concisely whether OS training could be useful to achieve specific long-term adaptations. In this regard, the new motorized and computerized TS can be of great help to individualize the load for each athlete and to monitor the results immediately.

Overspeed with towing system and maximal speed

In Table 3 it can be observed that TS produces speed increases in the athlete in a range that goes from + 2.1% for 3kg (Roland Van den Tillaar, 2018) to + 14.3% (Bosco & Vittori, 1986). Therefore, we can state that this method allows the athlete to run at higher speeds than under unassisted conditions. However, two major questions still exist: 1) which load is the most optimal to use during a training period? 2) Will these speed increases be reproducible by the athlete without the help of the TS after the training period?

Responding to the first question, the existing literature recommends speeds over 105-110% of the MRS (D. A. Clark et al., 2009; Sedláček et al., 2004, 2015) but special

attention is paid to the fact that the loads used should be those that cause the least possible distortion in the kinematic and running technique parameters of the athlete's natural pattern (K. Clark et al., 2021; Hicks, 2017; Leblanc & Gervais, 2004; Sedláček et al., 2015). In five of the articles (D. A. Clark et al., 2009; Sedláček et al., 2004, 2015; Roland Van den Tillaar, 2021, 2018) the effects of various loads are analyzed to decide which would be the best load based on the changes they produce in kinematic and technical parameters. In the study by Clark et al. (D. A. Clark et al., 2009) they conclude that loads that lead to 10% increases of the MRS can be excessive. Only loads over 3.8% of body weight are recommended, producing changes of + 4.8% of the MRS without significantly altering the horizontal distance from the support to the vertical projection of the center of gravity. This is an aspect that worsens the technical running pattern, but as Leyva et al (Leyva et al., 2017) point out, they did not carry out any study with a training period. In two more studies (Sedláček et al., 2004, 2015) various loads are analyzed with the conclusion that loads over 20-40N may be optimal, producing MRS increases of 105-108%. Van den Tillaar recommends loads of 5kg which represent improvements of + 4.8% of MRS (Roland Van den Tillaar, 2018) and in his latest work (Roland Van den Tillaar, 2021), the application of assisted loads of 4-5 kg depends on the sex, anthropometrics and level of the athlete.

It can be concluded that speeds close to or greater than + 10% of the MRS may be excessive and cause acute detrimental changes to sprinting mechanics. Loads that produce increases over + 5% of MRS may be optimal, and even lighter loads that allow running above the athlete's speed barrier. However, this needs to be supported through longitudinal training studies. Recommended values of 20-40N (Sedláček et al., 2004, 2015) of absolute load may be excessively broad for application in training, as these suggested values do not take into account sex differences or other individual differences between athletes. Van den Tillaar (Roland Van den Tillaar, 2018), exclusively contemplated male athletes, so their use in females cannot be generalized. However, this author's most recent study (58) provides results differentiated by sex. Among his main conclusions, he remarks that, in the 60 meters analyzed, the different speed assistance loads applied produce greater time decreases in women than in men. These differences are attributed to the fact that the loads used were the same for both genders (3, 4 and 5kg), so the relative propulsive force was greater for women (body mass: 60.7 ± 5.1 kg) than for men (body mass: 74.5 ± 6.8 kg). In future studies, it would be interesting to analyze the effects of the same relative loads.

This brings us to the second question: the lack of studies with an intervention period with different loads in sprinters. The authors are not aware of studies with longitudinal periods of overspeed training with different loads and their effects.

Therefore, more studies should be conducted, both to determine the acute effects of different loads and to see the effects of those loads after longitudinal periods of training. It is also important to be able to standardize the magnitude and the effects of the load. Possibly, the best option is to use the % of body weight (D. A. Clark et al., 2009; K. Clark et al., 2021) to determine the relative effects of the different loads on each athlete and to be able to compare them. According to Van den Tillaar (Roland Van den Tillaar, 2021), monitoring the sprints step-by-step could be another method to determine the optimal load, since it would match to the load that allows to continue running for a longer time at the maximal speed achieved, without alterations in the kinematics of steps. However, the data taken consider an absolute load, so we could also consider a relative load, transforming the data into a % of body weight).

Overspeed and kinematic perspective

Specific literature has described that sprint performance is the product of SL and SR (Monte et al., 2017; Salo et al., 2011). Consequently, increasing one or both of these components without negatively impacting the other will lead to an increase in speed performance (Faccioni, 1994; Hauschildt, 2010; A. Mero et al., 1992; Monte et al., 2017; Salo et al., 2011). In this regard, only Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008) have shown how TS may significantly increase both SL and SR as specific stimuli, among other mechanical aspects related to MRS. It is important to know the characteristics of the athletes to determine if OS can be an effective training method. In this regard, Salo et al. (Salo et al., 2011) explain that the performance of a sprinter can be SL or SR reliant and that this must be taken into account when selecting training methods. The SL reliant sprinters must pay special attention to maintaining strength levels, while the SR reliant sprinters depend more on the level of activation of the neural system. Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008) split athletes into pitch-type (those in which the relationship between their height and stride length at MRS is less than 1.3 and are more SR-dependent) and stride-type (those in which this relationship is equal or higher than 1.3 and are more SL-dependent). They report that the use of TS increases SL values in pitch-type athletes, while the TS increases SR values in stride-types athletes. In Van den Tillaar's study (58) men have longer step length, mainly due to their higher body height and longer limbs, but women show greater increases than men, possibly due to their lower body mass, that

allows the system to pull them with a greater relative force. Finally, Sedláček et al. (Sedláček et al., 2015) argue that athletes with higher SR values can benefit more from OS training. Therefore, coaches should know the characteristics of their athletes in addition to performing sessions of familiarization with overspeed training to determine if it may be a good method for them.

After analyzing the articles included in this review, it can be speculated that an increase in SL during TS stimulation is mainly owed to the inherent action of the towing mechanism (Corn, RJ; Knudson, 2003; Sedláček et al., 2004; Sugiura & Aoki, 2008; R. Van den Tillaar & Gamble, 2018; Roland Van den Tillaar & Gamble, 2017) and not to the athlete's muscle action, as explained later. It is important to note that there are great differences in the methodology used between articles (See Table 2) to record and analyze data, in addition to OS with TS conditions. For this reason, it is extremely difficult to establish comparisons, and even less conclusions.

Regarding SR, the most frequent conditions caused by TS may have a direct impact on the greater neuromuscular activation of the muscles involved in the MRS, and consequently on a potential increased adaptive response capacity (Faccioni, 1992, 1994; A. Mero et al., 1992; Schiffer, 2011) due to the higher production of a specific force (A. Mero et al., 1992). Although authors (Monte et al., 2017; A. Ross et al., 2001) have described how speed training may improve nerve conduction velocity, they could not demonstrate how this effect occurs in parallel to a SR improvement. According to Monte et al. (Monte et al., 2017), these relationships between SR and greater or lesser nervous activation are “athlete-dependent” and other mechanical and physiological factors, responsible for the effect on MRS, are involved. Therefore, the individual response of each athlete to acute exposure to OS over SL and SR should be analyzed attending to individual characteristics before scheduling training periods in the medium or long-term. The majority of studies included in this review reported decreases in CT with the TS method (see Table 3). Nevertheless, the division of contact time in the eccentric (braking) phase and concentric (propulsion) phase (A. Mero & Komi, 1985; A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987) show how this reduction in CT appears only during the concentric phase and even increases during the eccentric phase. These conclusions raise doubts as to whether the possible reduction in CT with TS is an adaptive neuromuscular response or if it simply occurs because the athlete ceases to prematurely push and is carried along by the system (Sedláček et al., 2015; Sugiura & Aoki, 2008). Similarly, FT shows a tendency to increase as the speed with the TS increases (see Table 3). Some

authors attributed this to the aforementioned effect of the system, rather than it being a consequence of a great application of force by the athlete (Sedláček et al., 2015; Sugiura & Aoki, 2008). Therefore, the main interest in analyzing the acute effects of OS with TS must focus on discerning what occurs in muscle action and not on variables resulting from the same, mainly SL, CT and FT.

Overspeed and ground reaction forces

Only three articles (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987) presented GRF data, showing how the increase in force with TS mainly appears during the eccentric contact phase, which may mean that the athlete uses more force to brake than in propulsion (concentric phase), since the values tend to decrease during this phase. This increase in braking forces must be minimized with the correct selection of the OS load because, as Nagahara et al. (R. Nagahara et al., 2018) described, the achievement of high speeds is associated with a greater application of force horizontally with an anterior-posterior direction and a decrease in braking forces. However, it would be relevant to analyze data that refers to the vertical ground reaction forces, since the possibility of achieving greater speeds in the maximal speed phase depends on increasing the forces that are reached with a vertical component, as concluded in different studies (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; R. Nagahara et al., 2018; Weyand et al., 2000). This would allow an optimal ratio to be maintained between SL and SR and also to prevent a descent in the center of gravity, which would increase with TS stimuli (A. Mero et al., 1992). This would be an undesired effect caused by the TS on the athlete's mechanics and motor pattern. Despite its importance, only the article by Mero et al. (A Mero et al., 1987) included an analysis of these GRF about the vertical component, with significant increases ($p < 0.05-0.01$) in both maximum values and average values during TS. In short, it would be necessary to analyze the OS with TS phenomenon from a GRF perspective using the means and methods available today, particularly force plates, which are superior in terms of precision and reliability. This has been carried out with MRS (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018; Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; R. Nagahara et al., 2018), and it should be possible to determine the exact influence the TS has on the athlete's speed and adjust loads individually for training periods.

Overspeed and electromyographic activity

The impact of TS on the neuromuscular system could be analyzed by measuring the EMG activity of muscles specifically involved during the sprint (Howard et al., 2018; A. Mero et al., 1992). As described in the results, EMG activity was analyzed in some articles

included in this review (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987; Sugiura & Aoki, 2008; R. Van den Tillaar & Gamble, 2018) but it is not possible to establish relevant conclusions due to the methodological differences in their analysis, with little data reported. Despite the lack of data, a relationship is established between the GRF data in the direction of traction and the increase in the EMG activity of the muscles involved in the braking phase. Mero & Komi (A Mero & Komi, 1986), Sugiura & Aoki (Sugiura & Aoki, 2008) and Van den Tillaar and Gamble (R. Van den Tillaar & Gamble, 2018) also report changes in hamstring activity, especially in the biceps femoris and the semimembranosus during the leg recovery phase in the flight phase, and in the rectus femoris (Sugiura & Aoki, 2008). This combination of muscle actions can be associated with quicker leg movements with less force applied horizontally with an anterior-posterior direction. The latter is not recommended, because - as Haugen et al. (T. Haugen et al., 2018) described - although sprinters must quickly seek to recover the leg after propulsion to search for a new contact, this action must not be performed at the expense of reducing the full extension of the ankle. This is because greater values of this impulse are related to superior horizontal speeds and improved sprint performances. More research in OS is needed, with wireless surface EMG (Howard et al., 2018) or textile electrodes embedded into clothing (Colyer & McGuigan, 2018; Finni et al., 2007), which can be useful for the analysis of muscle actions in all the phases of sprinting, in a more ecological approach.

Overspeed and sprint technique

The technical model of speed performance has been widely studied in the literature (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; T. Haugen et al., 2018; T. Haugen, McGhie, et al., 2019; A. Mero et al., 1992; Morin et al., 2011), but only seven of the articles included in this review analyzed biomechanical parameters related to the sprint technique (D. A. Clark et al., 2009; K. Clark et al., 2021; Corn, RJ; Knudson, 2003; Leblanc & Gervais, 2004; A. Mero & Komi, 1985; A Mero et al., 1987; Sugiura & Aoki, 2008). In this regard, OS with TS conditions should not cause great biomechanical differences or differences in the technical sprint model between a speed stimulus with or without TS (K. Clark et al., 2021; Sedláček et al., 2004, 2015), a fact that would decrease the specificity of the training stimulus (Corn, RJ; Knudson, 2003). However, we cannot state this with certainty, since there are not enough studies that analyze possible modifications in the sprint technique after a period of overspeed training, similarly to the study of Lahti et al (Lahti, Huuhka, et al., 2020) after a heavy resisted sprint training period.

Three main aspects stood out: 1) The horizontal distance between the start of contact and the vertical projection of the center of gravity increases of 14.8% ($p < 0.01$) in Mero et al. (A Mero et al., 1987) and of 46.7% ($p < 0.001$) in Corn and Knudson (Corn, RJ; Knudson, 2003). On the contrary, in the study by Clark et al. (D. A. Clark et al., 2009), only the 5.7% increase with 4.7% of body weight acquires significance ($p < 0.046$). This is an undesired effect of the TS as it increases GRF in the eccentric phase of CT, as mentioned previously, and it must be avoided because it causes losses in horizontal speed, particularly when combined with the increase in SL (D. A. Clark et al., 2009). The cause is the sprinter's inertia, which continues to move forward given the system's action (A. Mero et al., 1992). In this vein, Clark et al. (K. Clark et al., 2021) described how the center of gravity was more displaced during FT than during CT as a result of the TS' action. 2) The angle of the knee was analyzed at two points: at the beginning and at the end of contact. It can be stated that this angle in TS tends to increase significantly during the first phase of contact, as reported by Mero and Komi (A. Mero & Komi, 1985), Mero et al. (A Mero et al., 1987) and Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008). In other words, the leg comes into contact with the ground with a greater knee extension. As a result, the athlete would actively and voluntarily look for contact with the ground beforehand, therefore increasing EMG activity in pre-activation (A Mero & Komi, 1987) to respond to the greater GRF generated in the eccentric phase (A Mero & Komi, 1986). The same angle at the end of the contact phase tends to be significantly reduced, as described by Sugiura and Aoki (Sugiura & Aoki, 2008). This effect may be attributed to the action of towing system and the athlete removing their foot prior to full propulsion in order to quickly search for the next point of contact. The study by Mero and Komi (A Mero & Komi, 1987) describes how EMG activity in post-activation decreases, although not significantly. 3) The ground-shank angle recorded at the beginning of contact decreases its values significantly from 89° to 87° ($p < 0.05$) in Mero and Komi (A. Mero & Komi, 1985) and from 89° to 86° ($p < 0.001$) in Mero et al. (A Mero et al., 1987) as a result of greater GRF in the eccentric phase. This may also be related to the decrease in spring constants (A Mero & Komi, 1987) and a greater vertical oscillation of the center of gravity (A. Mero et al., 1992).

Therefore, research into the acute effects of OS with TS, as well as possible adaptations to training with these systems, must focus on thoroughly analyzing muscle actions via GRF and EMG activity. The methodology and towing systems should be standardized, as opposed to focusing so much on the responses or temporary adjustments that are caused

on a kinematic or technical level, with the aim of recommending (or not) its use to improve MRS.

Possible intervention studies must also observe the changes that occur at other levels, such as physiological, molecular and even epigenetic changes. In this respect, only the study by Mero et al. (A Mero et al., 1987) analyzed what happened in metabolic terms, showing higher concentrations of lactate in the blood and higher oxygen debt in MRS than in OS, which may indicate less muscle action. Moreover, despite muscle stiffness is another physiological quality that would be expected to improve with OS stimuli (Faccioni, 1992; Monte et al., 2017), only one of the studies included in this review reported data in this regard. Reduced muscle elasticity or spring constants were described during the braking phase, with no changes in the impulse phase (A Mero & Komi, 1986). This response could be explained by the increase in braking forces registered in the eccentric contact phase (A Mero et al., 1987; A Mero & Komi, 1986, 1987).

Future perspectives: the path to individualization in overspeed training.

As is the case in other sports with multifactorial phenotypes, adaptations to speed and overspeed training are complex and influenced by both environmental and genetic factors (Murtagh et al., 2020; Rundqvist et al., 2019). Consequently, a combination of interindividual variability in genetic and epigenetic factors related to OS training could help to understand the differences between “high responders” and “low or non-responders” to overspeed training (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020). Maximal speed training increases motor unit firing (Behm, 1995), leading to a higher rate of force production if better motor unit synchronization exists (Hauschildt, 2010). Thus, MRS performance improvements would be achieved if adaptive physiological responses occur mainly in muscle and neural tissues. Neuromuscular improvements caused by OS training are attributed to improvements in motor unit synchronization, due to the increased load on the muscle during the stretch-shortening cycle (Flanagan & Comyns, 2008). Future lines of research must analyze what happens at these levels (neuromuscular and molecular) to be able to determine the effects of OS training with TS, mainly in intervention studies with monitoring.

CONCLUSIONS

The main acute effects of OS with TS found in this review are the increase of the MRS, SL and FT values and the decrease of CT values. Despite the observed changes, it cannot

be determined if they are due to modified neuromuscular activation and ground force application or to the device.

Knowing the acute effects of OS with TS is a first step to use it as a training method to improve MRS in the long term. Future research in this area of knowledge about sports performance should take into account the following recommendations:

- 1) The use of TS devices that allow control and the application of loads, with the aim of individualizing and selecting those that may cause improvements and may be quantified.
- 2) Comprehensively analyze muscle actions using GRF and/or EMG data to provide further insight and resolution during exposure to OS.
- 3) Being able to obtain elite sprinter data for this type of training.
- 4) The development of more intervention studies monitoring the effects of OS training with TS.

FUNDING

This research received no external funding.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Behm, DG. Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J Strength Cond Res* 9: 264–274, 1995.
2. Borenstein, M, Hedges, L V., Higgins, JPT, and Rothstein, HR. Introduction to Meta-Analysis. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
3. Bosco, C and Vittori, C. Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. *New Stud Athl* 1: 39–45, 1986.
4. Botella Ausina, J and Sánchez-Meca, J. Meta-análisis en ciencias sociales y de la salud. Madrid: Síntesis, 2015.
5. Cissik, JM. Means and methods of speed training: Part II. *Strength Cond J* 27: 18–25, 2005.

6. Clark, DA, Sabick, MB, Pfeiffer, RP, Kuhlman, SM, Knigge, NA, and Shea, KG. Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting. *J Strength Cond Res* 23: 1162–1168, 2009.
7. Clark, K, Cahill, M, Korfist, C, and Whitacre, T. Acute kinematic effects of sprinting with motorized assistance. *J Strength Cond Res* 35: 1856–1864, 2021.
8. Colyer, SL and McGuigan, PM. Textile electrodes embedded in clothing: A practical alternative to traditional surface electromyography when assessing muscle excitation during functional movements. *J Sport Sci Med* , 2018.
9. Colyer, SL, Nagahara, R, and Salo, AIT. Kinetic demands of sprinting shift across the acceleration phase: Novel analysis of entire force waveforms. *Scand J Med Sci Sports* 28: 1784–1792, 2018.
10. Colyer, SL, Nagahara, R, Takai, Y, and Salo, AIT. How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: Waveform analysis of ground reaction forces. *Scand J Med Sci Sports* 28: 2527–2535, 2018.
11. Corn, RJ; Knudson, D. Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *J Strength Cond Res* 17: 72–75, 2003.
12. Ebben, WP. The optimal downhill slope for acute overspeed running. *Int J Sports Physiol Perform* 3: 88–93, 2008.
13. Faccioni, A. Assisted and resisted methods for speed development. Part 1. *Strength Cond Coach* 1: 10–11, 1992.
14. Faccioni, A. Assisted and resisted methods for speed development. Part II. *Mod Athl Coach* 32: 3–6, 1994.
15. Finni, T, Hu, M, Kettunen, P, Vilavuo, T, Cheng, S, Colyer, SL, et al. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *J Sport Sci Med* 28: 1405–1419, 2007.

16. Flanagan, EP and Comyns, TM. The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength Cond J* 30: 32–38, 2008.
17. Hagger, MS. Meta-analysis in sport and exercise research: Review, recent developments, and recommendations. *Eur J Sport Sci* 6: 103–115, 2006.
18. Haugen, T, Danielsen, J, Alnes, LO, McGhie, D, Sandbakk, Ø, and Ettema, G. On the importance of ‘Front-Side Mechanics’ in athletics sprinting. *Int J Sports Physiol Perform* 13: 420–427, 2018.
19. Haugen, T, McGhie, D, and Ettema, G. Sprint running: from fundamental mechanics to practice-a review. *Eur J Appl Physiol* 119: 1273–1287, 2019.
20. Hauschildt, MD. Integrating high-speed treadmills into a traditional strength and conditioning program for speed and power sports. *Strength Cond J* 32: 21–32, 2010.
21. Hicks, D. Resisted and assisted sprint training: Determining the transfer to maximal sprinting. *New Stud Athl* 32: 35–52, 2017.
22. Hopkins, WG, Marshall, SW, Batterham, AM, and Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3–12, 2009.
23. Howard, RM, Conway, R, and Harrison, AJ. Muscle activity in sprinting: a review. *Sport Biomech* 17: 1–17, 2018.
24. Kratky, S., Müller, E, Kratky, S, and Müller, E. Sprint running with a body-weight supporting kite reduces ground contact time in well-trained sprinters. *J Strength Cond Res* 27: 1215–1222, 2012.
25. Kristensen, GO, van den Tillaar, R, and Ettema, GJC. Velocity specificity in early-phase sprint training. *J Strength Cond Res* 20: 833–837, 2006.

26. Lahti, J, Huuhka, T, Romero, V, Bezodis, I, Morin, J-B, and Häkkinen, K. Changes in sprint performance and sagittal plane kinematics after heavy resisted sprint training in professional soccer players. *PeerJ* 8: e10507, 2020.
27. Lahti, J, Jiménez-Reyes, P, Cross, MR, Samozino, P, Chassaing, P, Simond-Cote, B, et al. Individual sprint Force-Velocity profile adaptations to in-season assisted and resisted velocity-based training in professional rugby. *Sports* 8, 2020.
28. Leblanc, JS and Gervais, PL. Kinematics of assisted and resisted sprinting as compared to normal free sprinting in training athletes. In: Proceedings of the XXII ISBS Congress.2004. pp. 536–540
29. Leyva, WD, Wong, MA, and Brown, LE. Resisted and assisted training for sprint speed: A brief review. *J Phys Fitness, Med Treat Sport* 1: 1–6, 2017.
30. Majdell, R and Alexander, M. The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J Hum Move Stud* 21: 19–39, 1991.
31. McGuinness, LA and Higgins, JPT. Risk-of-bias VISualization (robvis): An R package and Shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. *Res Synth Methods* n/a, 2020.
32. Mero, A and Komi, P V. Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *J Appl Biomech* 1: 240–252, 1985.
33. Mero, A and Komi, P V. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55: 553–561, 1986.
34. Mero, A and Komi, P V. Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from submaximal to supramaximal. *Med Sci Sport Exerc* 19: 266–274, 1987.
35. Mero, A, Komi, P V, and Gregor, RJ. Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med* 13: 376–392, 1992.

36. Mero, A, Komi, P V, Rusko, H, and Hirvonen, J. Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *Int J Sports Med* 8 Suppl 1: 55–60, 1987.
37. Moher, D, Liberati, A, Tetzlaff, J, and Altman, DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS One* 6: e1000097, 2009.
38. Monte, A, Muollo, V, Nardello, F, and Zamparo, P. Sprint running: how changes in step frequency affect running mechanics and leg spring behaviour at maximal speed. *J Sports Sci* 35: 339–345, 2017.
39. Morin, J-B, Edouard, P, and Samozino, P. Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1680–8, 2011.
40. Morris, SB. Distribution of the standardized mean change effect size for meta-analysis on repeated measures. *Br J Math Stat Psychol* 53 (Pt 1): 17–29, 2000.
41. Murtagh, CF, Brownlee, TE, Rienzi, E, Roquero, S, Moreno, S, Huertas, G, et al. The genetic profile of elite youth soccer players and its association with power and speed depends on maturity status. *PLoS One* 15: e0234458, 2020.
42. Nagahara, R, Mizutani, M, Matsuo, A, Kanehisa, H, and Fukunaga, T. Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint. *J Appl Biomech* 34: 104–110, 2018.
43. Paradisis, GP and Cooke, CB. Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. *J Sports Sci* 19: 149–159, 2001.
44. Ross, A, Leveritt, M, and Riek, S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. *Sports Med* 31: 409–425, 2001.
45. Ross, RE, Ratamess, NA, Hoffman, JR, Faigenbaum, AD, Kang, J, and Chilakos,

- A. The effects of treadmill sprint training and resistance training on maximal running velocity and power. *J Strength Cond Res* 23: 385–394, 2009.
46. Rumpf, MC, Lockie, RG, Cronin, JB, and Jalilvand, F. Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: A brief review. *J Strength Cond Res* 30: 1767–1785, 2016.
47. Rundqvist, HC, Montelius, A, Osterlund, T, Norman, B, Esbjornsson, M, and Jansson, E. Acute sprint exercise transcriptome in human skeletal muscle. *PLoS One* 14: e0223024, 2019.
48. Salo, AIT, Bezodis, IN, Batterham, AM, and Kerwin, DG. Elite sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Med Sci Sports Exerc* 43: 1055–1062, 2011.
49. Schiffer, J. Training to overcome the speed plateau. *IAAF New Stud Athl* 26: 7–16, 2011.
50. Sedláček, J, Kostial, J, Kampmiller, T, and Dremmelová, I. The use of supramaximal speed means in sprinter training. *Acta Univ Palacki Olomuc Gymnica* 34: 15–22, 2004.
51. Sedláček, J, Krska, P, and Kostial, J. Use of supramaximal speed mean in maximal running speed depment. *Gymn Sci J Educ Sport Heal* 16: 39–50, 2015.
52. Slawinski, J, Termoz, N, Rabita, G, Guilhem, G, Dorel, S, Morin, J-B, et al. How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men’s and women’s sprint performance. *Scand J Med Sci Sports* 27: 45–54, 2017.
53. Sterne, JA, Hernán, MA, Reeves, BC, Savović, J, Berkman, ND, Viswanathan, M, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ* 355: i4919, 2016.
54. Stoyanov, HT. Effect of assisted training on the special running preparation of

- junior sprinters for 100 and 200 m. *Human Sport Med* 19: 74–79, 2019.
55. Sugiura, Y and Aoki, J. Effects of supramaximal running on stride frequency and stride length in sprinters. *Adv Exerc Sport Physiol* 14: 9–17, 2008.
 56. Van den Tillaar, R. Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: a brief review. *J Strength Cond Res* 18: 388–396, 2004.
 57. Van den Tillaar, R. Comparison of step-by-step kinematics of normal and assisted 60m sprints with different loads in experienced sprinters. In: Proceedings of the 36th Conference of the International Society of Biomechanics in Sport. Auckland, New Zealand, 2018. pp. 142–145
 58. Van den Tillaar, R. Comparison of development of step-kinematics of assisted 60 m sprints with different pulling forces between experienced male and female sprinters. *PLoS One* 16: e0255302, 2021. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0255302>
 59. Van den Tillaar, R and Gamble, P. Comparison of step-by-step kinematics of resisted, normal and assisted 30 m sprints in experienced sprinters. In: Proceedings of the 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sport. Cologne, Germany, 2017. pp. 452–455
 60. Van den Tillaar, R and Gamble, P. Comparison of step-by-step kinematics and muscle activation of resisted, assisted, and unloaded 30-m sprints in sprinters. *Transl Sport Med* 1: 151–159, 2018.
 61. Weyand, PG, Sternlight, DB, Bellizzi, MJ, and Wright, S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* 89: 1991–1999, 2000.

FIGURES AND CAPTIONS

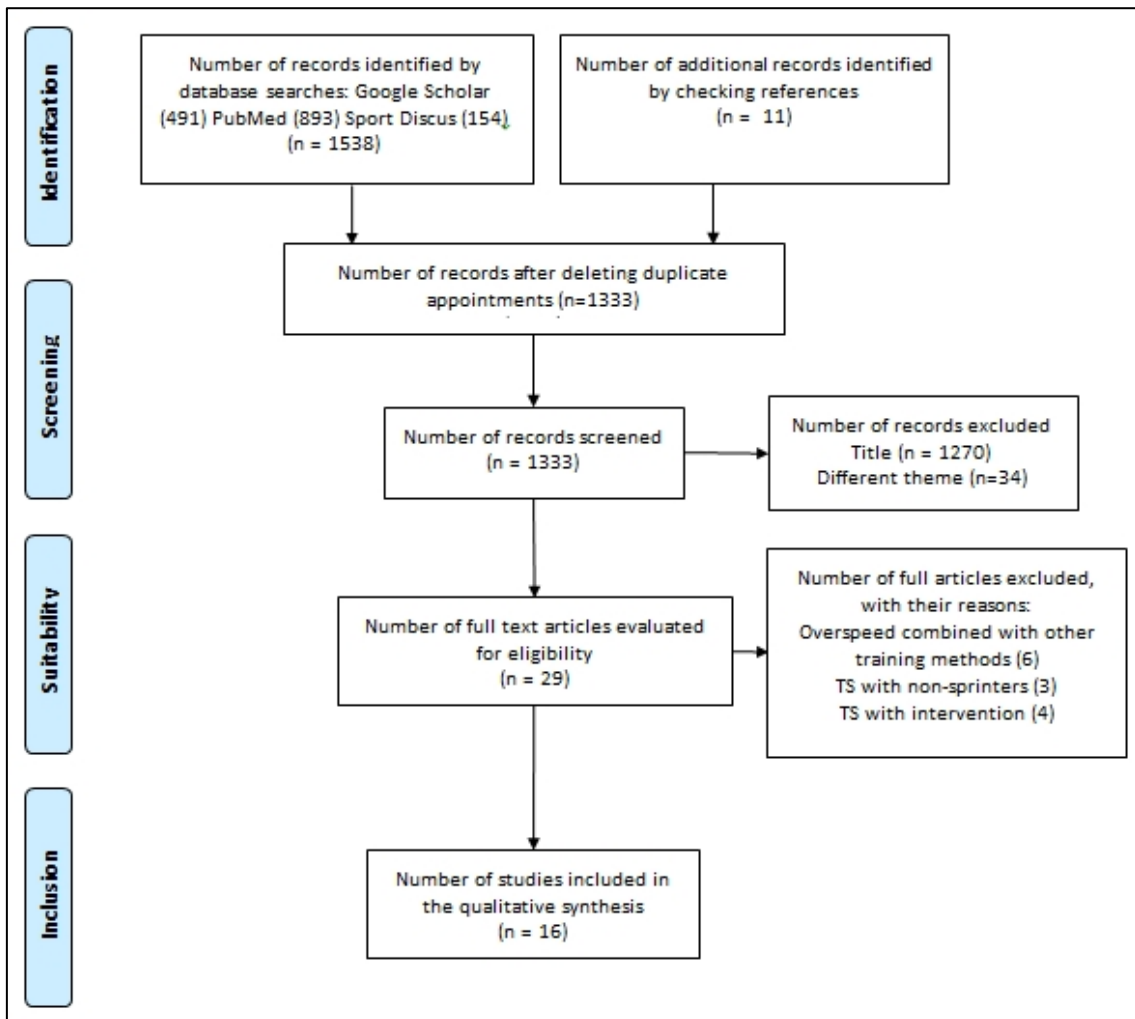


Figure 1: PRISMA Flow chart. PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis. Moher et al. (34); TS: towing system.

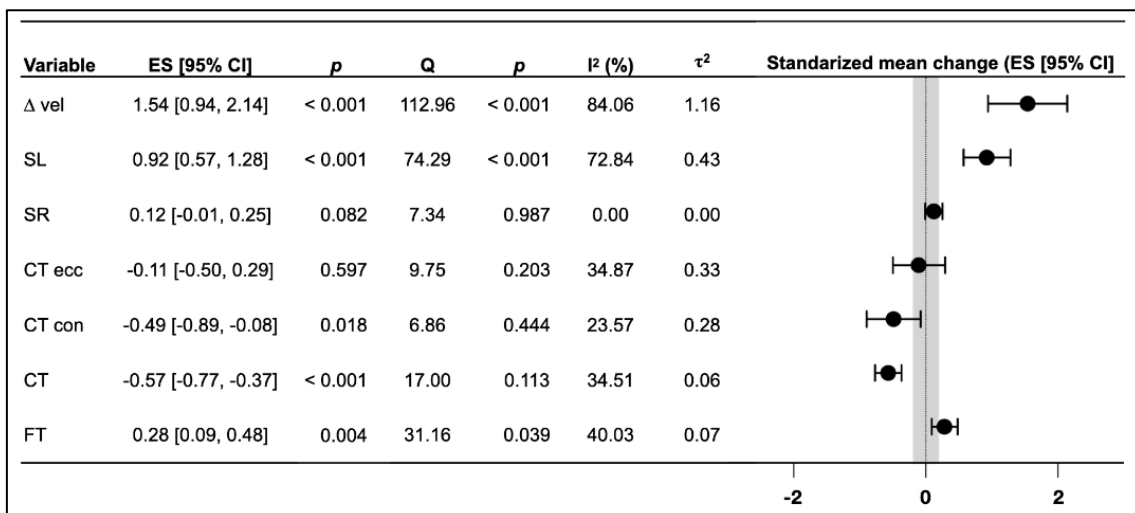


Figure 2: Effect of the overspeed condition compared to the maximal-sprint condition intervention on kinematic variables. Bars indicate uncertainty in the true mean changes with 95% confidence limits. Shaded

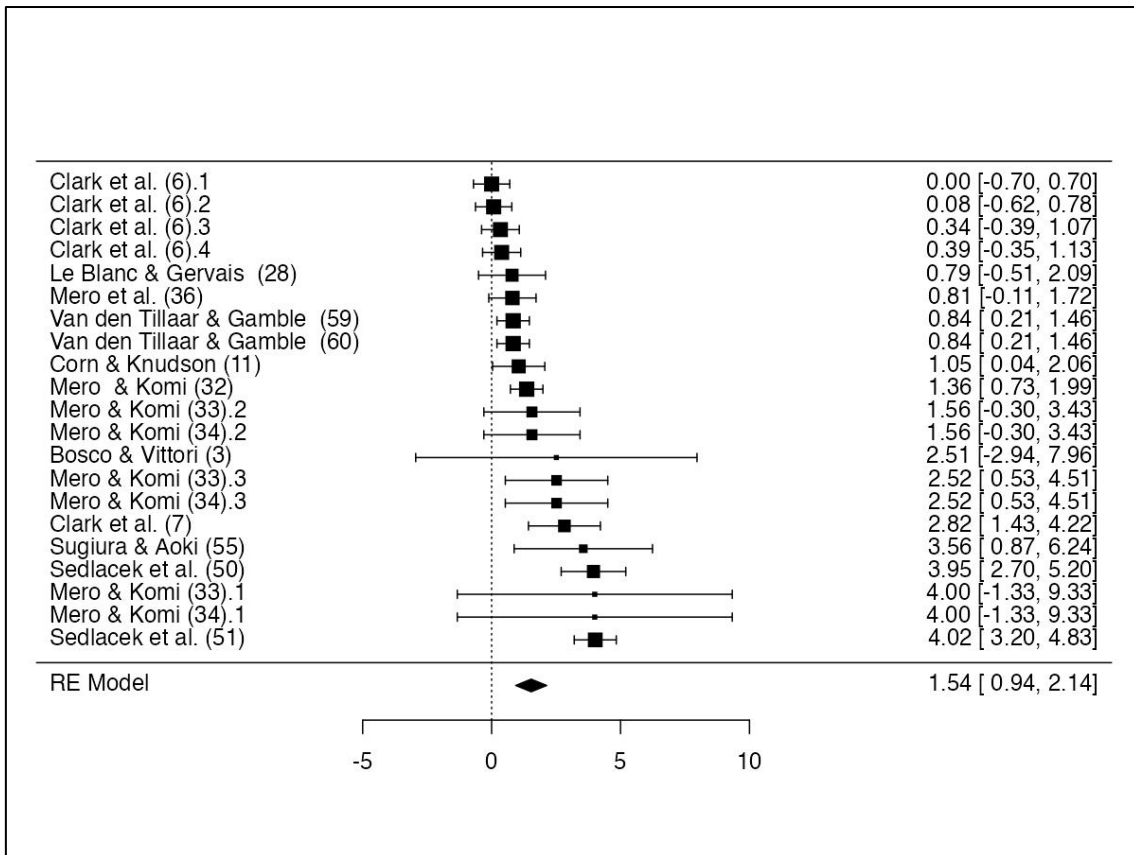
area indicates the trivial effect size value. Δ vel: velocity increases; SL: step length; SR: step rate; CT ecc: contact time of the eccentric phase; CT con: contact time of the concentric phase; CT: contact time of concentric and eccentric phase; FT: flight time; ES: effect size; CI: confidence interval.

Study	Risk of bias domains							Overall
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
Mero & Komi (32)	+	+	+	+	+	-	+	-
Bosco & Vittori (3)	+	+	+	+	+	-	+	-
Mero & Komi (33)	+	+	+	+	+	-	+	-
Mero et al. (36)	X	+	+	+	+	-	+	X
Mero & Komi (34)	+	+	+	+	+	-	+	-
Corn & Knudson (11)	+	+	+	+	+	-	+	-
Leblanc & Gervais (28)	+	+	+	+	+	-	+	-
Sedlacek et al. (50)	+	+	+	+	+	-	+	-
Sugiura & Aoki (55)	+	+	+	+	+	-	+	-
Clark et al. (6)	-	+	+	+	+	-	+	-
Sedlacek et al. (51)	+	+	+	+	+	-	+	-
Van den Tillaar & Gamble (59)	X	+	+	+	+	-	+	X
Van den Tillaar & Gamble (60)	X	+	+	+	+	-	+	X
Van den Tillaar (57)	X	+	+	+	+	-	+	X
Clark et al. (7)	+	+	+	+	+	-	+	-
Van den Tillaar (58)	X	+	+	+	+	-	+	X

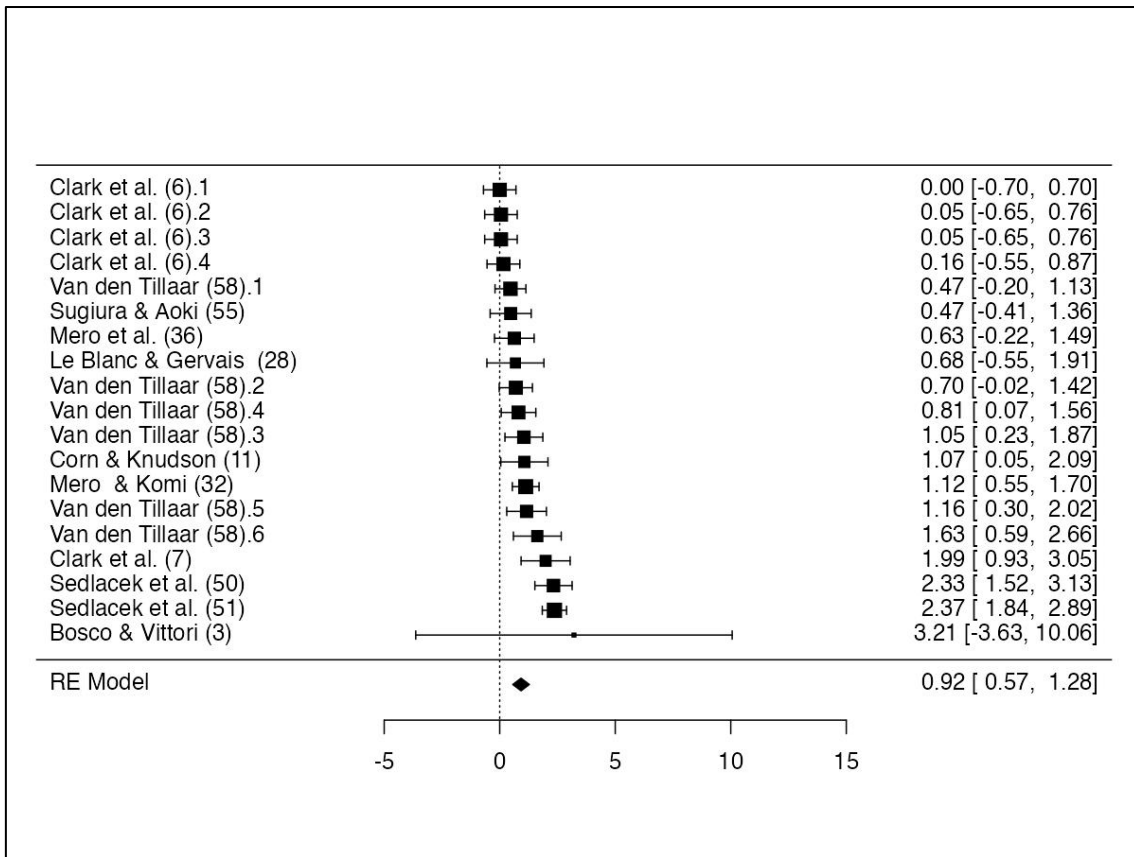
Domains:
D1: Bias due to confounding.
D2: Bias due to selection of participants.
D3: Bias in classification of interventions.
D4: Bias due to deviations from intended interventions.
D5: Bias due to missing data.
D6: Bias in measurement of outcomes.
D7: Bias in selection of the reported result.

Judgement
 Serious
 Moderate
 Low

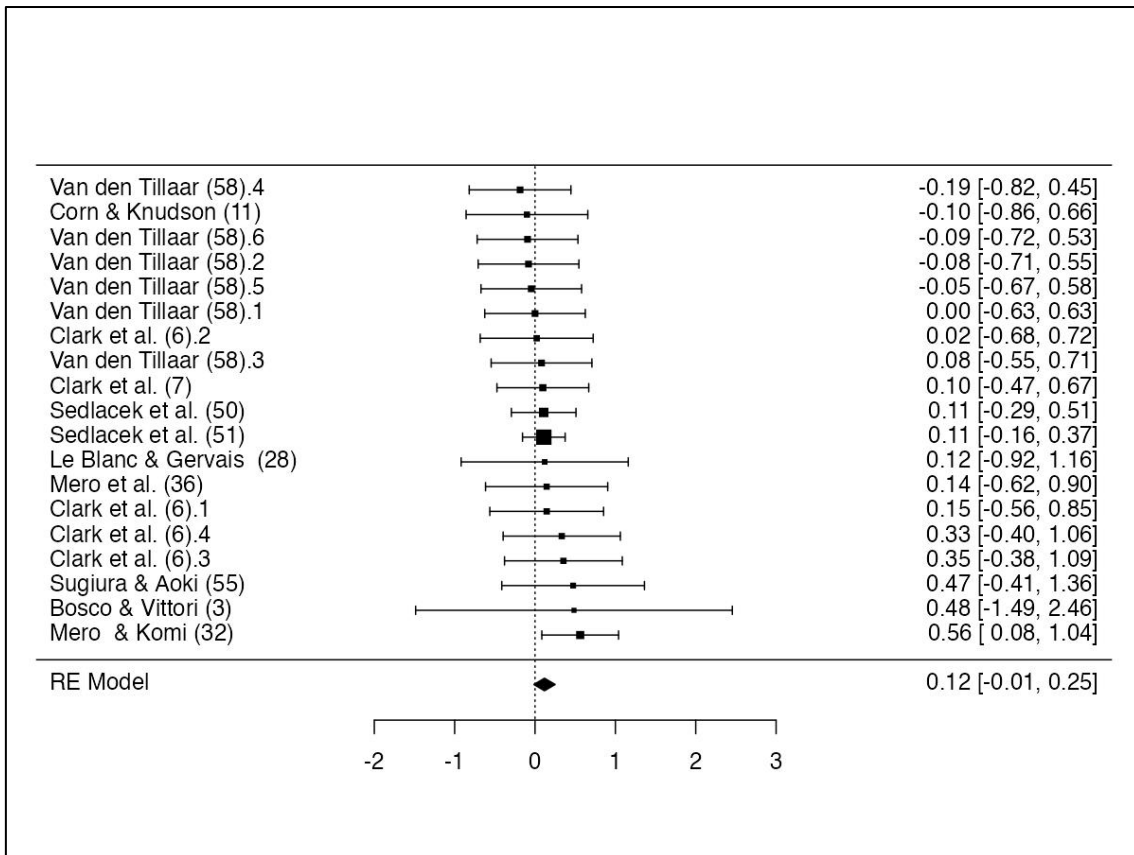
Figure 3: Risk of bias summary by item and study. Green marker: Low risk of bias; Yellow marker: Moderate risk of bias; Red marker: Serious risk of bias. D1: Bias due to confounding; D2: Bias due to selection of participants; D3: Bias in classification of interventions; D4: Bias due to deviations from intended interventions; D5: Bias due to missing data; D6: Bias in measurement of outcomes; D7: Bias in selection of the reported result.



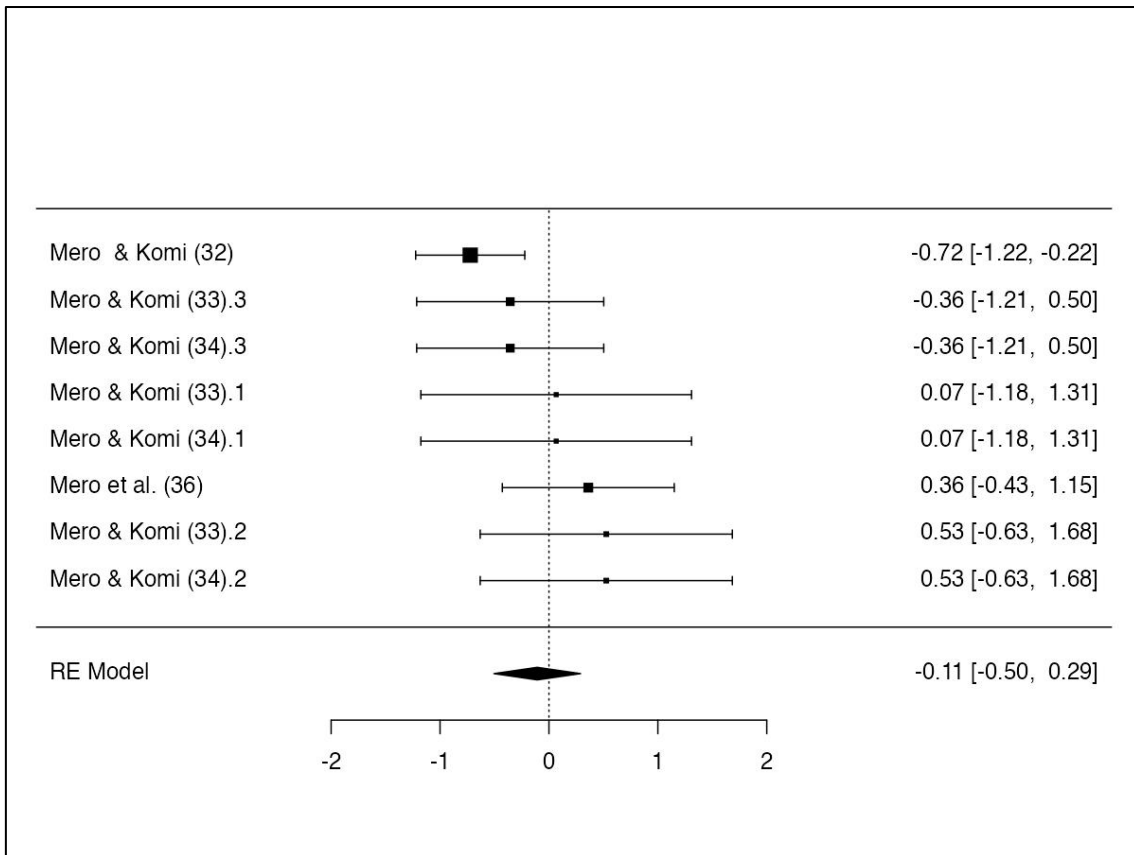
Supplemental figure 1: Forest plot of the effects of overspeed conditions on velocity increases compared to maximal sprint condition. Each plotted point represents the standard error and effect sizes between overspeed and maximal sprint conditions.



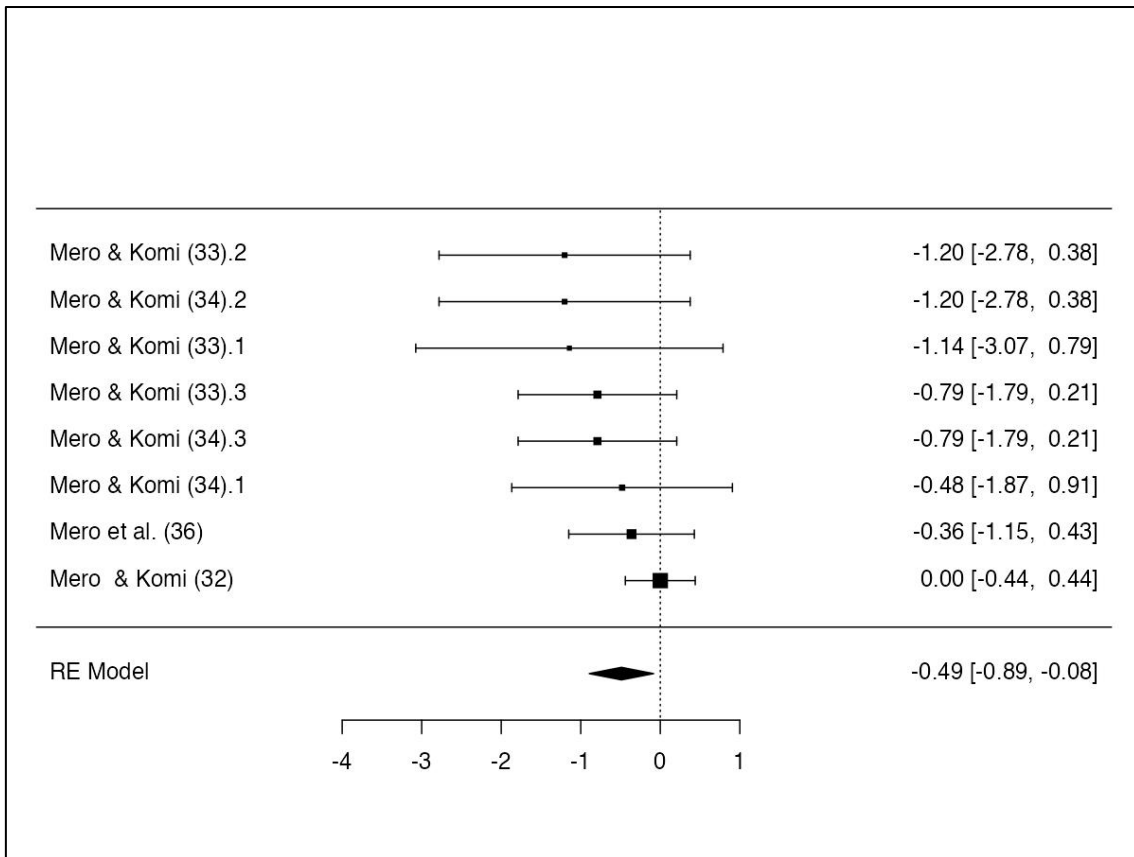
Supplemental figure 2: Forest plot of the effects of overspeed conditions on step length compared to maximal sprint condition. Each plotted point represents the standard error and effect sizes between overspeed and maximal sprint conditions.



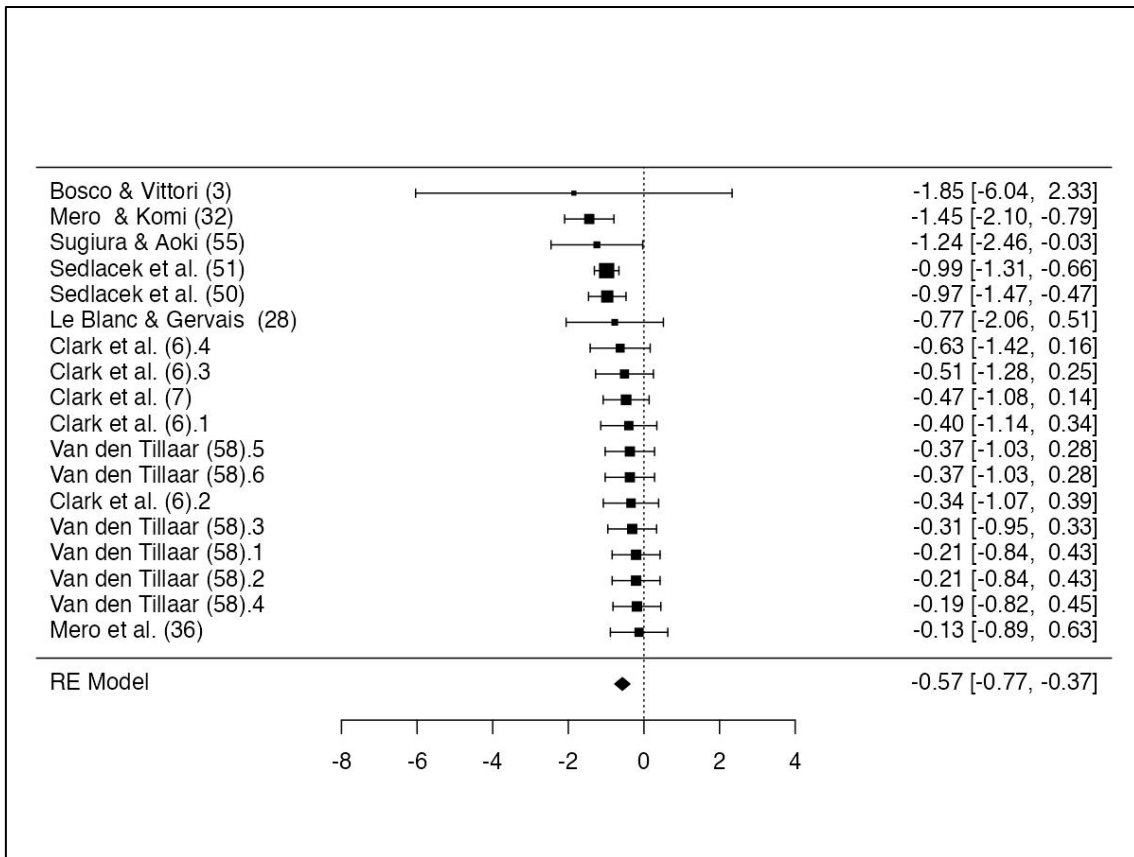
Supplemental figure 3: Forest plot of the effects of overspeed conditions on step rate compared to maximal sprint condition. Each plotted point represents the standard error and effect sizes between overspeed and maximal sprint conditions.



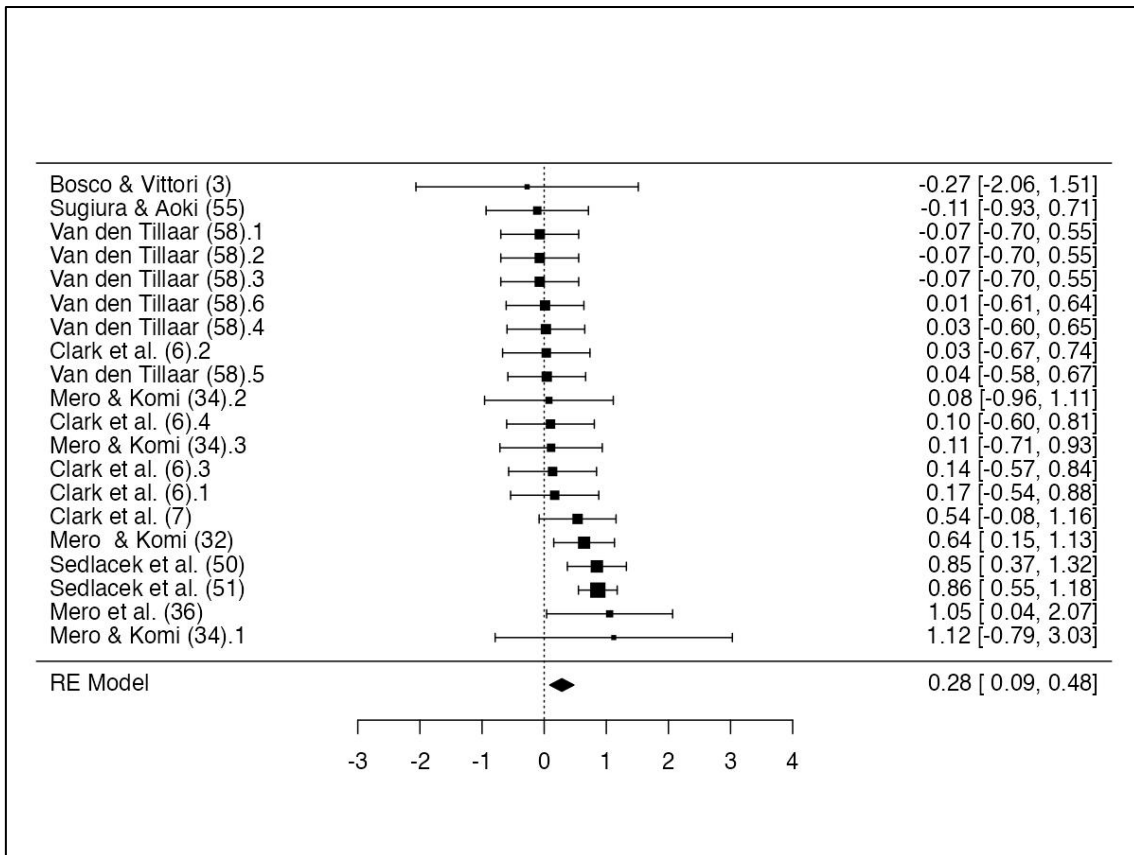
Supplemental figure 4: Forest plot of the effects of overspeed conditions on contact time of the eccentric phase compared to maximal sprint condition. Each plotted point represents the standard error and effect sizes between overspeed and maximal sprint conditions.



Supplemental figure 5: Forest plot of the effects of overspeed conditions on contact time of the concentric phase compared to maximal sprint condition. Each plotted point represents the standard error and effect sizes between overspeed and maximal sprint conditions.



Supplemental figure 6: Forest plot of the effects of overspeed conditions on contact time of the concentric and eccentric phase compared to maximal sprint condition. Each plotted point represents the standard error and effect sizes between overspeed and maximal sprint conditions.



Supplemental figure 7: Forest plot of the effects of overspeed conditions on flight time compared to maximal sprint condition. Each plotted point represents the standard error and effect sizes between overspeed and maximal sprint conditions.

Table 1: Studies included in this systematic review: type and sample characteristics.

Reference	Type	n	Males	Females	Groups	Age (y)	Height (m)	Weight (kg)
Mero & Komi (32)	Journal	22	13	9	4	20.4	1.75	67.3
Bosco & Vittori (3)	Journal	4	4	0	1	21.5 ± 2.1	1.77 ± 0.02	69.0 ± 7.0
Mero & Komi (33)	Journal	19	11	8	3	20.9	1.77	68.9
Mero et al. (36)	Journal	9	9	0	1	25.5 ± 2.2	1.81 ± 0.05	73.7 ± 4.2
Mero & Komi (34)	Journal	19	11	8	3	20.9	1.77	68.9
Corn & Knudson (11)	Journal	9	5	4	1	21.2	1.73	68.5
Le Blanc & Gervais (28)	Conference	6	5	1	1	21.8 ± 1.7	1.78 ± 0.08	77.0 ± 8.6
Sedlacek et al. (50)	Journal	52	52	0	2	14 to 31	N/D	N/D
Sugiura & Aoki (55)	Journal	8	8	0	1	21.0 ± 1.0	1.78 ± 0.05	70.8 ± 5.4
Clark et al. (6)	Journal	10	6	4	1	18.6	1.75	67.2
Sedlacek et al. (51)	Journal	57	57	0	2	14 to 31	N/D	N/D
Van den Tillaar & Gamble (59)	Conference	16	11	5	1	26.5	1.76	76.0
Van den Tillaar & Gamble (60)	Journal	16	11	5	1	26.4 ± 9.0	1.76 ± 0.08	75.5 ± 12.3
Van den Tillaar (57)	Conference	11	11	0	1	22.3 ± 5.8	1.82 ± 0.08	74.8 ± 7.6
Clark et al. (7)	Journal	14	14	0	1	18.0 ± 2.5	1.76 ± 0.07	70.4 ± 6.4
Van den Tillaar (58)	Journal	24	12	12	1	22.0	1.75	67.6

N/D: no data. Standard deviation values are reported when available except for references 50 and 51 that are reported ranged.

Table 2: Methods data from the analyzed studies.

Reference	Towing system	Load	Data zone	Start type	Tests methods	Recovery
Mero & Komi (32)	Another athlete by tightened rubber rope	30 - 45N (uniform)	10-m	Flying with 35-m acceleration	6 runs (2 sub-maximal - 2 maximal - 2 supra-maximal)	5-7 min
Bosco & Vittori (3)	Motorized system designed by the authors	100 - 150N (uniform)	10-m	Flying with 50-m acceleration	A series of runs (not determined)	No data
Mero & Komi (33)	Another athlete by tightened rubber rope	30 - 45N (uniform)	10-m	Flying with 35-m acceleration	6 runs (2 sub-maximal - 2 maximal - 2 supra-maximal)	5-7 min
Mero et al. (36)	Motorized system (Bosco & Vittori, 1986) with rubber rope	±25N	10-m	Flying with 35-m acceleration	10 runs (3 maximal - 5 supra-maximal - 2 maximal)	5-5-26-5-5-24-5-5-5 min
Mero & Komi (34)	Another athlete by tightened rubber rope	30 - 45N (uniform)	10-m	Flying with 35-m acceleration	10 runs (6 sub-maximal - 2 maximal - 2 supra-maximal)	5-7 min

Corn & Knudson (11)	Another athlete by elastic band Power system Speed Harness Rope and pulley	40 - 50N	20-m	Standing	4 runs (2 maximal - 2 supra-maximal)	5 min
Le Blanc & Gervais (28)	Stroops Double-Time overspeed trainer	No data	10-m	Flying with 30-m in Free and 20-m in Assisted	12 runs (3 free - 3 resisted - 3 assisted - 3 sprint start)	No data
Sedlacek et al. (50)	Towed by weights and pulley with Speedy system	20, 30, 40, 50N	20-m	Flying with 20-m acceleration	2 maximal and 2-8 supra-maximal with different loads	No data
Sugiura & Aoki (55)	Motorized system Nishi Sports	5 kg (isotonic)	6-m	Flying with 60-m acceleration	4 runs (2 maximal – 2 supra-maximal)	10-20 min
Clark et al. (6)	Towed by Theraband elastic tubing combinations	2.0, 2.8, 3.8, 4.7 % body weight	60-m	Standing	5-9 runs in each 5 conditions in different days with minimum 48 hours of rest	5-7 min

Sedlacek et al. (51)	Towed by weights and pulley with Speedy system	20, 30, 40, 50N	20-m	Flying with 20-m acceleration	2 maximal and 2-8 supra- maximal with different loads	No data
Van den Tillaar & Gamble (59)	Towed by cord, pulleys and weights	82N	30-m	Standing	9 runs (3 maximal - 3 assisted - 3 resisted)	No data
Van den Tillaar & Gamble (60)	Towed by cord, pulleys and weights	82N	30-m	Standing	9 runs (3 maximal - 3 assisted - 3 resisted)	No data
Van den Tillaar (57)	Motorized system Dynaspeed	3, 4, 5 kg	60-m	Standing	4 runs (1 maximal - 1 in each towed condition)	No data
Clark et al. (7)	Motorized system 1080 Sprint	7 kg (isotonic)	20-m	Flying with 20-m acceleration	4 runs (2 maximal - 2 supra- maximal)	6 min
Van den Tillaar (58)	Motorized system Dynaspeed	3, 4, 5 kg	60-m	Standing	4 runs (1 maximal - 1 in each towed condition)	10-12 min

Table 3: Kinematic factors in maximal speed compared with overspeed in towing system conditions.

Reference	Δ vel (m/s)	SL (m)	SR (step/s)	CT ecc (s)	CT con (s)	CT (s)	FT (s)
Mero & Komi (32)	9.25 to 10.04	2.06 to 2.20	4.49 to 4.56	0.043 to 0.037	0.059 to 0.059	0.102 to 0.096	0.121 to 0.125
	(+8.5%)	(+6.8%)	(+1.7%) ns	(-13.9%)		(-5.9%)	(+3.3%)
	p<0.001	p<0.001	p<0.10	ns	ns	p<0.001	p<0.05
Bosco & Vittori (3)	10.15 to 11.60	2.26 to 2.45	4.50 to 4.70	N/D	N/D	0.093 to 0.085	0.130 to 0.126
	(+14.3%)	(+8.4%)	(+4.44%)			(-8.6%)	(-3.1%)
	p<0.01	p<0.02	ns			p<0.01	ns
Mero & Komi (33)	9.45 to 10.26	ns Δ	Sig Δ p<0.05-0.001	0.046 to 0.047	0.059 to 0.052	0.105 to 0.100	N/D
	(+8.6%)			(+3.0%)	(-11.8%)	(-5.3%)	
	p<0.001			ns	ns	ns	
Mero et al. (36)	9.85 to 10.27	2.12 to 2.20	4.65 to 4.67	0.044 to 0.046	0.052 to 0.050	0.096 to 0.095	0.120 to 0.127
	(+4.4%)	(+3.8%)	(+0.43%)	(+4.5%)	(-3.9%)	(-1.0%)	(+5.8%)
	p<0.001	p<0.01	ns	ns	ns	ns	p<0.01)
Mero & Komi (34)	9.57 to 10.36	N/D	N/D	0.046 to 0.047	0.059 to 0.052	0.105 to 0.100	0.124 to 0.127
	(+8.3%)			(+3.0%)	(-11.8%)	(-5.3%)	(+2.4%)
	p<0.001			ns	ns	ns	ns
Corn & Knudson (11)	8.06 to 8.63	1.90 to 2.03	4.26 to 4.25	N/D	N/D	N/D	N/D
	(+7.1%)	(+6.8%)	(-0.23%)				
	p<0.001	p<0.001	p<0.445				

Le Blanc & Gervais (28)	9.40 to 10.04 (+6.8%) ns	2.26 to 2.28 (+0.9%) ns	4.26 to 4.51 (+5.9%) ns	N/D	N/D	0.114 to 0.103 (-9.6%) ns	N/D
Sedlacek et al. (50)	9.23 to 10.33 (+10.66%) p<0.01	2.10 to 2.34 (+11.4%) p<0.01	4.41 to 4.43 (+0.45%) ns	N/D	N/D	0.113 to 0.105 (-7.1%) p<0.01	0.114 to 0.121 (+6.1%) p<0.01
Sugiura & Aoki (55)	9.5 to 10.22 (+7.5% ± 0.5) p<0.001	2.26 to 2.34 (+3.4% ± 2.6) p<0.01	4.22 to 4.38 (+4.0% ± 3.0) p<0.01	N/D	N/D	0.114 to 0.107 (-6.1%) p<0.01	0.124 to 0.122 (-1.6%) ns
Clark et al. (6)	(+5.4% for 3.8% BW and +6.1% for 4.7% BW) p<0.01	ns ch in all conditions	(+4.3% for 3.8% BW (p<0.01) and +4.0% for 4.7% BW) p<0.05	N/D	N/D	Sig ch in all conditions p<0.01	ns Δ in all conditions
Sedlacek et al. (51)	9.23 to 10.33 (+10.66%) p<0.01	2.10 to 2.34 (+11.4%) p<0.01	4.41 to 4.43 (+0.45%) ns	N/D	N/D	0.113 to 0.105 (-7.1%) p<0.01	0.114 to 0.121 (+6.1%) p<0.01
Van den Tillaar & Gamble (59)	7.04 to 7.48 (+6.2) p<0.05	(+5%) p<0.05	ns ch	N/D	N/D	(-2.8%) p<0.05	(+4.5%) p<0.05

Van den Tillaar & Gamble (60)	7.04 to 7.48 (+6.2%) p<0.05	Sig Δ p<0.001	N/D	N/D	N/D	Sig decreases p<0.001	Sig Δ p<0.001
Van den Tillaar (57)	(+2.1% for 3kg, +3.9% for 4kg, +5.1% for 5kg) p<0.05	Sig Δ with 3, 4 and 5kg p<0.05	ns ch p<0.63	N/D	N/D	ns ch p<0.06	ns ch p<0.073
Clark et al. (7)	10.0 to 10.9 (+9.4%) p<0.001	2.11 to 2.30 (+8.7%) p<0.001	4.72 to 4.75 (+0.7%) ns p=0.36	N/D	N/D	0.100 to 0.095 (-5.2%) p<0.001	0.112 to 0.116 (+3.4%) p<0.05
Van den Tillaar (58)	Sig Δ for male and female with 3, 4 and 5kg p<0.05	Sig Δ for male and female with 3, 4 and 5kg p<0.05	ns ch for male and female with 3, 4 and 5kg	N/D	N/D	Sig decreases for male and female with 5kg p<0.05	ns ch for male and female with 3, 4 and 5kg

Δ vel: velocity increases; SL: step length; SR: step rate; CT ecc: contact time of the eccentric phase; CT con: contact time of the concentric phase; CT: contact time of concentric and eccentric phase; FT: flight time; BW: body weight; ns: non-significant; Sig: significant; Δ: increases; ch: changes; N/D: no data.

9.2. Anexo 2: Estudio descriptivo sobre efectos agudos publicado en Biology

Enlace a la publicación:

<https://www.mdpi.com/2079-7737/11/8/1223>

Article

Acute Effects of Different Overspeed Loads with Motorized Towing System in Young Athletes: A Pilot Study

Citation: Cecília-Gallego, P.; Odriozola, A.; Beltrán-Garrido, J.V.; Álvarez-Herms, J. Acute Effects of Different Overspeed Loads with Motorized Towing System in Young Athletes: A Pilot Study. *Biology* **2022**, *11*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editors: Gianpiero Grec, Filip Kuki and Katie M. Heinrich

Received: 02 July 2022

Accepted: 10 August 2022

Published: date

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



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

Pau Cecília-Gallego^{1,2}, **Adrián Odriozola**^{3,4,5}, **José Vicente Beltrán-Garrido**^{1,6} and **Jesús Álvarez-Herms**^{3,4,5},

¹ Health and Sport Sciences University School (EUSES), Rovira i Virgili University, 43870 Amposta, Spain; jose.vicente@euseste.es

² National Institute of Physical Education (INEFC), University of Barcelona, 08038 Barcelona, Spain

³ Sport Genomics Research Group, Department of Genetics, Physical Anthropology and Animal Physiology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country (UPV/EHU), 48940 Leioa, Spain; adrianoOdriozola@gmail.com

⁴ KDNA Genomics®, University of the Basque Country UPV/EHU, Joxe Mari Korta Research Center, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain

⁵ Phymo® Lab, Physiology and Molecular laboratory. 40170 Collado Hermoso, Spain

⁶ Department of Education and Specific Didactics, Faculty of Humanities and Social Sciences, Universitat Jaume I, 12071 Castellón de la Plana, Spain

Correspondence: pau.cecilia@euseste.es Tel.: +34-977-448093

Simple Summary: The towing system is a widely used method to increase running speed since it allows the athletes to run at a speed higher than the speed that they would achieve with their own methods. Currently, we dispose of motorized towing systems that provide overspeed conditions.

In this study, we have analyzed the acute effects of using one of these devices with different loads in eight young athletes and thus determine the possible optimal load for their use during training. These effects have been analyzed on different variables of the sprint running technique, and it has been observed that the increase in speed is mainly due to the increase in stride length, flight time and horizontal distance of the vertical projection of the center of gravity to the first contact of the foot with the ground, as well as to reductions in contact time. However, it cannot be determined whether these results are produced by the muscular action of the athlete or by the action of the device. Following up the investigation of the effects of the motorized towing system and the individualization of loads may allow for the development of these training methods, giving them greater scientific evidence.

Abstract: Overspeed is a training method used to improve running speed, although its effects are not supported by consensual scientific evidence. The overspeed stimulus can be boosted by several methods, including motorized towing devices. Our objectives were to analyze the acute effects of three overspeed loads in young athletes and to select optimal loads for training periods. Eight young athletes (16.73 ± 1.69 years) performed one unassisted sprint and three assisted sprints, and kinematic and biomechanical data were compared. Significant increases ($p < 0.05$) in step velocity and step length were found with 2, 4, and 5.25 kg in maximum running speed, flight time and horizontal distance from the first contact to the vertical projection of the center of mass with 4 and 5.25 kg. Significant time decreases were found in 5 m flying sprint and contact time with 4 and 5.25 kg, and no significant changes were observed in step rate. The individually recommended loads would be between $3.47 \pm 0.68\%$ and $6.94 \pm 1.35\%$ body weight. Even having limitations, we can understand this work and its results as a pilot study to replicate the methodology and the use of new devices to more broadly investigate the effects of overspeed.

Keywords: assisted sprint; amateur athletes; individualization; ecological approach; body weight

1. Introduction

Maximum running speed (MRS) is a specific and essential factor to stimulate specific performance in sprint disciplines in athletics (K. Clark et al., 2021; A. Mero et al., 1992). Specific training for sprinters involves regular repetition of the motor pattern of the maximum speed running cycle (K. Clark et al., 2021). Respecting the basic principle of biological stimuli specificity, two training methods for the improvement of MRS have been widely used: (1) those that use resisted speed stimuli, such as uphill running or with an overload on the athlete's running action through weighted vests or belts or with a towed sled (Cronin et al., 2008), and (2) those that use assisted speed or overspeed (OS) through downhill running (Ebben, 2008), high-speed treadmills (Hauschildt, 2010) or towing systems (TS) [1,6,7], which provide assistance for the athlete to run at a speed greater than the maximum possible speed developed by themselves (K. Clark et al., 2021; Corn, RJ; Knudson, 2003). OS stimuli increase the intensity in running movement specificity and physiologically stimulate the neuromuscular system during OS running actions (Corn, RJ; Knudson, 2003; Schiffer, 2011). Mainly, it has been hypothesized that OS training creates a "light up" in the central nervous system that can increase the number of neurons recruited and alter the timing of nervous stimuli, which could lead to an improvement in intramuscular coordination, and theoretically, these changes could cause decreases in contact time and increases in stride rate (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Álvarez-Herms, 2022; Schiffer, 2011), but the latter differs in several studies (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Álvarez-Herms, 2022; A Mero et al., 1987). Mero and Komi (A. Mero & Komi, 1985) also state that OS training can improve nerve conduction velocity, which can lead muscle performance to higher levels of performance.

Studies on the subject have described how the application of acute OS with TS stimuli produce alterations in kinematic,

biomechanical and physiological factors [1,6,10,12,13]. The potential effects described above reveal that the response would be athlete-dependent and individual, depending on one's own response capacity and the repetitiveness of the stimuli [1,7,13,14]. In addition, the acute adaptive response capacity would be key to being able to mechanize actions at a higher speed, and it would be efficient in the motor pattern stimulated with OS. In the selection of loads for OS training with TS, the possibility of maintaining each athlete's race-specific motor pattern and avoiding reactive or harmful processes due to incorrect or inefficient mechanics must always be taken into account [1,7,13]. This could be especially important in young athletes if they have an unstable motor pattern of MRS and is the main reason why the changes that OS conditions produce in biomechanical and kinematic parameters must be controlled (Schiffer, 2011). In addition, OS should be applied to mature and experienced athletes in sprint training (Schiffer, 2011).

The main criterion recommended in the literature for the choice of loads for OS training with TS is based on the percentage of acute improvement of the assisted MRS compared to the unassisted MRS with the recommended variations being between + 3–8% (D. A. Clark et al., 2009; Sedláček et al., 2015) and + 5–10% (A. Mero & Komi, 1985; Sugiura & Aoki, 2008). However, the heterogeneity of the means used to generate OS with TS complicates the standardization and replication of the conditions of each study [7,10,14,15]. Currently there are devices such as the DynaSpeed (Ergotest Technology AS, Langesund, Norway) (Roland Van den Tillaar, 2021, 2018) and the 1080 Sprint (1080 Motion, Lidingö, Sweden) (K. Clark et al., 2021; Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020) that allow for precise quantification and monitoring of the traction load.

Based on this background, we present a pilot study, carried out with the 1080 Sprint motorized device, hypothesizing that the results in the analyzed variables will vary depending on the

different loads used and that some differences will appear between individuals that will influence the selection of loads for using these methods in the medium or long term. Moreover, individual particularities due to age, biological maturation, training experience in OS stimulus or running sprint model pattern may directly influence the results. The aims were to analyze the acute effects of different OS loads on linear sprint kinematic and biomechanical parameters in young athletes and to quantitatively identify the optimal theoretical tensile loads recommended for use in OS training periods as a proposal to replicate in other studies and training.

2. Methodology

2.1. *Experimental Approach to the Problem*

Following a within-subject design (N. J. Salkind, 2010), all participants were exposed to three OS conditions (OS1 (2 kg), OS2 (4 kg) and OS3 (5.25 kg)) and to a no-OS condition (S0). The values of the different kinematic variables recorded in the OS conditions were compared to the S0 condition. The variables analyzed were time in 5 m flying sprint (T5m), maximum running speed in 5 m flying sprint (V5m), step velocity (SV), step length (SL), step rate (SR), contact time (CT), flight time (FT) and horizontal distance from the vertical projection of the center of mass on the ground to the first contact of the front foot (HD).

Prior to the study, all athletes completed 2–3 familiarization sessions with the 1080 Sprint device. The session began with a standardized warm-up consisting of an 8–10-min easy run, muscle activation exercises, athletic skill exercises, and 2–3 submaximal sprints. They then performed one maximal unassisted sprint and three assisted sprints with progressively higher loads (2 kg, 4 kg, 5.25 kg), recovering for 8–10 min between repetitions.

Anthropometric data were collected for a better description of the sample and to assess the maturity status of the athletes. Data on weight, height, sitting height, and leg length were collected, and the procedures to determine biological maturation were according with that proposed by Mirwald et al. (Mirwald et al., 2002).

2.2. *Participants*

The convenience sample of 8 young athletes (3 men/5 women), who compete at the national level in their age categories, was recruited from the Terres de l'Ebre Sports Technification Center. The characteristics of the sample can be consulted in Table 1. Two athletes compete only in sprint events, two compete in sprints and long jump, three in sprints and hurdles and one in sprints and

hammer throw. The study was carried out following the protocols of the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethics Committee of the University of the Basque Country (M10_2021_191). Informed consent was obtained from all subjects and from their legal guardians in the case of minors.

Table 1. Characteristics of the participants and % of body weight in assistance loads.

Sex	Males (3)	Females (5)	All (8)
Age (years)	15.98 ± 1.09	17.18 ± 1.57	16.73 ± 1.69
Years from PHV	2.13 ± 0.68	3.96 ± 1.39	3.28 ± 1.46
Years of training	5.33 ± 1.15	5.60 ± 1.34	5.50 ± 1.20
Height (cm)	174.87 ± 5.78	160.72 ± 13.81	166.03 ± 10.56
Weight (kg)	63.22 ± 2.86	56.62 ± 10.53	59.09 ± 8.70
Fat mass %	7.50 ± 0.17	16.18 ± 6.54	12.93 ± 5.62
% BW OS1	3.17 ± 0.14	3.65 ± 0.84	3.47 ± 0.68
% BW OS2	6.34 ± 0.29	7.31 ± 1.68	6.94 ± 1.35
% BW OS3	8.71 ± 0.40	9.28 ± 1.81	9.07 ± 1.52
PB 60 m (s)	7.63 ± 0.06	8.32 ± 0.60	8.06 ± 0.47

Data are shown as average ± SD. PHV: peak height velocity; BW: body weight; OS: overspeed load (1: 2 kg; 2: 4 kg; 3: 5.25 kg); PB: personal best in 60 m dash with automatic timing.

2.3. Materials and Methods

The tests were carried out on outdoor synthetic athletics track between 11:30 a.m. and 1:30 p.m. with a temperature of 15 °C. The athletes followed a randomized order in their participation, performing all sprints in the same order (2, 4, 5.25 kg), to progressively increase physical and psychological activation and to reduce the risk of injury. The assistance in the sprint was carried out using the 1080 Sprint device, and the total distance covered was 50 m. During the first 20 m, the athletes started standing without assistance, in the following 30 m the assistance was applied, and

after 50 m, they stopped receiving it, decelerating until their movement stopped. The device cable was attached to the athlete with a belt and carabiner, both provided by the manufacturer. The 1080 Sprint device is provided with 90 m of cable that is mechanically rolled or unrolled by a servo motor (2000 rpm G5 Series Motor; OMRON Corp. Kyoto, Japan), controlled by the Quantum software v. 3.9.9.5 (1080 Motion, Lidingö, Sweden). The 1080 Sprint device was placed at a height of 80 cm so that the trajectory of the assistance was as horizontal as possible. Loads can be adjusted between 1 and 15 kg, with 0.1 kg increments, in the isotonic-assisted mode, and it can be determined exactly how many meters to cover with or without mechanical assistance. The equivalences of the assisted overloads on the percentage of body weight (BW) of the athletes can be observed in Table 1.

2.4. Data Analysis

T5m and V5m variables were obtained with photoelectric cells from Chronojump (www.chronojump.org/product-category/races/, accessed on 21 January 2020) located at a height of 1 m and connected to a laptop (Toshiba Satellite Pro R50-B-10v, Kyoto, Japan) with the Chronojump software (1.9.0 version, www.chronojump.org/software/, accessed on 21 January 2020) and were recorded between meters 40 and 45 of each sprint (Padullés-Riu, 2011). To obtain the SL, CT, FT and HD variables, the attempts were recorded with a Casio Exilim F1 camera (http://arch.casio-intl.com/asia-mea/en/dc/ex_f1/, accessed on 21 January 2020) at 300 fps (Buscà, B.; Quintana, M.; Padullés-Riu, 2016) and analyzed with the Kinovea 2D analysis software (stable version 0.8.15, www.kinovea.org/download.html, accessed on 21 January 2020) (Puig-Diví, A.; Padullés-Riu, J.M.; Busquets-Faciabén, A.; Padullés-Chando, X.; Escalona-Marfil, C.; Marcos-Ruiz, 2017; Reinking et al., 2018). The camera was placed perpendicular to the 45 m of the race at a distance of 13 m from the race line and at a height of 1.5 m. The

Parallax effect was counteracted by placing references between 40 and 50 m in the projection where athletes actually are shown on camera when they cross that distance (Romero-Franco et al., 2017). The values of these variables were taken for both legs in two consecutive steps and were presented as the average value of both. For a better location of the center of mass and the metatarsal in the support, markers were placed at both points. The SR (number of steps/step time (CT + FT)) and SV (SL / step time) variables were calculated indirectly. The attempts were analyzed twice during three consecutive supports (2 steps), approximately between 42.5 and 47.5 m.

2.5. Statistical Procedures

The normal distribution of the data was checked using the Shapiro–Wilk test. Intra-trial reliability was assessed with the coefficient of variation (CV) and the 2-factor mixed interclass correlation coefficient (ICC) with 95% confidence intervals (CIs). CV values were considered acceptable when $CV \leq 10\%$ (Cormack et al., 2008; A. Turner et al., 2015). The ICC was interpreted as follows: $ICC < 0.50$ = poor, $0.5–0.74$ = moderate, $0.75–0.9$ = good, and > 0.9 = excellent (Koo & Li, 2016). To compare the kinematic parameters of the S0, OS1, OS2 and OS3 conditions, as well as the changes in velocity between conditions, a one-way repeated measure analysis of variance (ANOVA) was used. The assumption of sphericity was evaluated using the Mauchly test. When sphericity was violated ($p \leq 0.05$), the Greenhouse–Geisser correction was applied. When a significant main effect was observed, post hoc comparisons were performed with the Bonferroni correction. Effect sizes (ES) were evaluated using partial eta squared (η^2_p), considering the values of 0.06, 0.06–0.14, and > 0.14 as small, medium, and large ES, respectively. Mean difference was obtained, and the standardized mean difference Cohen's d_z effect size was calculated using the formula $d_z = t/\sqrt{(n)}$ (Lakens,

2013). The ESs were interpreted as follows: < 0.2 = trivial; $0.2-0.6$ = small; $0.6-1.2$ = moderate; $1.2-2.0$ = large; > 2.0 = very large. (Hopkins et al., 2009). The level of significance was established at 0.05 for all tests. All statistical analyses were performed with the JASP application for Mac (0.11.2 version; JASP Team (2019), University of Amsterdam, The Netherlands) and IBM SPSS Statistics for Mac (v.25, IBM, New York, NY, USA).

3. Results

3.1. Reliability Tests

Each parameter had an acceptable intra-trial consistency with CV values < 10% and moderate-to-excellent ICC values ranging from 0.74 to 1.00.

3.2. Comparison of Kinematic Parameters between Speed Conditions

Main effects and post hoc test results are reported in Table 2. Significant main effects of condition ($p < 0.05$) were reported in all the variables except for SR; the significant effect sizes observed were large ($\eta^2_p = 0.41$ to 0.78).

Table 2. Kinematic parameters of the different speed conditions.

Variable	S0	OS1	OS2	OS3	ANOVA 4 × 1 (<i>p</i>)	η^2_p
T5m (s)	0.61 ± 0.04	0.59 ± 0.04	0.58 ± 0.03 * ^L	0.56 ± 0.05 * VL # ^L	< 0.001	0.72 ^L
V5m (m/s)	8.23 ± 0.58	8.46 ± 0.57	8.62 ± 0.48 * ^L	8.92 ± 0.70 * VL # ^L ^ ^M	< 0.001	0.71 ^G
SV (m/s)	8.59 ± 0.74	8.88 ± 0.65 * ^L	9.06 ± 0.71 * ^L	9.43 ± 0.73 * VL # ^L ^ ^L	< 0.001	0.78 ^L
SR (step/s)	4.31 ± 0.25	4.30 ± 0.26	4.27 ± 0.28	4.31 ± 0.26	0.753	0.05 ^S
SL (cm)	199.34 ± 12.36	206.97 ± 13.96 * ^M	212.70 ± 15.44 * ^L	219.12 ± 13.75* ^{VL} # ^L	< 0.001	0.75 ^L
FT (s)	0.119 ± 0.014	0.124 ± 0.014	0.127 ± 0.017 * ^L	0.125 ± 0.012 * ^S	0.003	0.47 ^L
CT (s)	0.114 ± 0.010	0.110 ± 0.007	0.109 ± 0.010 * ^M	0.108 ± 0.009 * ^L	0.009	0.41 ^L
HD (cm)	34.16±4.06	35.60±3.67	38.48 ± 3.81 * ^{VL} # ^{VL}	39.72 ± 4.16* VL # ^{VL}	< 0.001	0.74 ^L

Values are presented as average \pm SD. S0: speed without assistance load; OS: assistance loads (1: 2 kg; 2: 4 kg; 3: 5.25 kg); T5m: time between meters 40 and 45 with a flying start; V5m: speed between meters 40 and 45 with a flying start; SV: step velocity between meters 42.5 and 47.5 with a flying start; SR: step rate; SL: step length; FT: flight time; CT: contact time; HD: horizontal distance between the point of first contact with the ground and the vertical projection of the center of mass; $p_{Bonferroni} \leq 0.05$ different from the S0 condition; # $p_{Bonferroni} \leq 0.05$ different from the OS1 condition; ^ $p_{Bonferroni} \leq 0.05$ different from the OS2 condition; ^T: trivial effect size; ^S: small effect size; ^M: medium/moderate effect size; ^L: large effect size; ^{VL}: very large effect size; ^{2p}: partial squared eta effect size.

Changes in the Variables in Each Condition with Respect to S0

The percentages of change of each condition with respect to S0 are shown in Table 3 and in Figure 1.

Table 3. Percentages of change of each condition with respect to S0.

Variables	OS 1-S0	OS 2-S0	OS 3-S0
T5m	-4.80 \pm 6.29	-6.64 \pm 5.41	-9.55 \pm 7.36
V5m	+2.91 \pm 2.91	+4.88 \pm 3.01	+8.42 \pm 3.48
SV	+3.46 \pm 2.73	+5.62 \pm 3.47	+9.84 \pm 3.30
SR	-0.32 \pm 2.39	-0.94 \pm 3.08	-0.09 \pm 1.76
SL	+3.83 \pm 2.36	+6.70 \pm 4.30	+9.95 \pm 3.24
FT	+4.12 \pm 2.30	+6.12 \pm 4.91	+5.36 \pm 3.18
CT	-3.23 \pm 3.23	-4.41 \pm 3.47	-4.47 \pm 3.76
HD	+4.59 \pm 6.93	+13.20 \pm 10.18	+16.62 \pm 7.30

The values are expressed as the % change of each condition with respect to S0. S0: without assistance load; OS: assistance loads (1: 2 kg; 2: 4 kg; 3: 5.25 kg); T5m: time between meters 40 and 45 with a flying start; V5m: speed between meters 40 and 45 with a flying start; SV: step velocity between meters 42.5 and 47.5 with a flying start; SR: step rate; SL: step length; FT: flight time; CT: contact time; HD: horizontal distance between the point of first contact with the ground and the vertical projection of the center of mass.

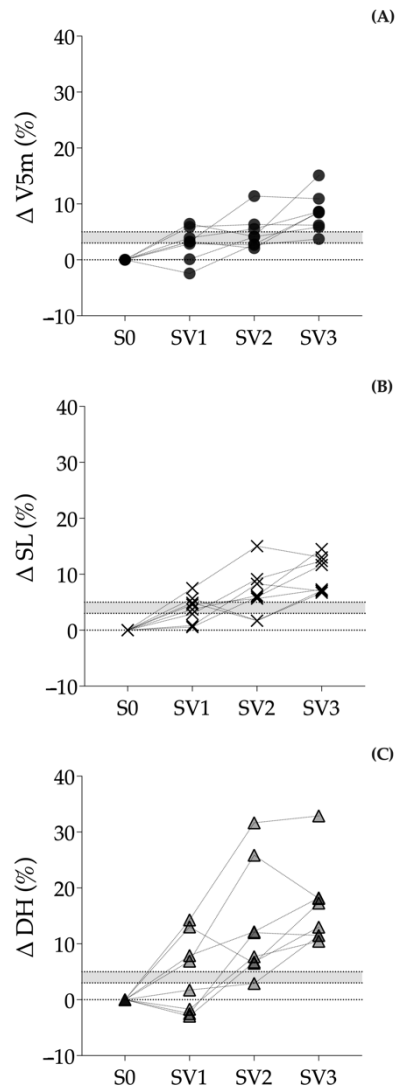


Figure 1. Individual percentages of change for the variables (A) V5m, (B) SL and (C) HD in the different experimental conditions. The gray shaded area highlights the percentage change range between 3% and 5%. V5m: speed between meters 40 and 45 with a flying start; SL: step length; HD: horizontal distance between the point of first contact with the ground and the vertical projection of the center of mass.

4. Discussion

The first objective of this study was to analyze the acute effects on different kinematic and biomechanical variables of running speed in different young athletes (See Figure 1) produced by OS stimuli with motorized TS. Overall, the results showed significant increases (See Table 2) in V5m, FT and HD with 4 and 5.25 kg; in SL

and OS with 2, 4 and 5.25 kg; and significant decreases in T5m and CT with 4 and 5.25 kg, while no significant differences in SR were found with any load.

Regarding the second objective of the study, the recommended load should be set between 2 and 4 kg depending on the individual, taking into account that the percentage of change in the MRS, and the differences in the variables analyzed should lead to the least possible distortion of the natural pattern of speed run.

Although there are large methodological differences in the related literature that make it difficult to compare data (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Álvarez-Herms, 2022), we can observe that the percentage increases in V5m and SV obtained in our study (See Table 3) are similar to previous studies: (1) + 14.3% MRS ($p < 0.01$) with 100–150N (Bosco & Vittori, 1986) and + 4.4% MRS ($p < 0.001$) with 25N (A Mero et al., 1987); (2) + 7.5% MRS ($p < 0.001$) with 5 kg (Sugiura & Aoki, 2008); + 9.4% MRS ($p < 0.001$) with 7 kg (K. Clark et al., 2021); + 1.9% with 3 kg, + 3.6% with 4 kg and +4.8% with 5 kg in SV ($p < 0.05$) (Roland Van den Tillaar, 2018) and with all the loads (3,4,5 kg) in SV ($p < 0.05$) (Roland Van den Tillaar, 2021). These significant increases in V5m (4 and 5.25 kg) and SV (2, 4 and 5.25 kg), observed in our study (See Table 3) fall within the parameters recommended in the literature [6,12,13,15], and can be explained mainly by significant increases in SL (2, 4 and 5.25 kg) and FT (4 and 5.25 kg) and CT decreases (4 and 5.25 kg). However, in the present study and in the specialized literature, it is not clear whether these differences are produced by greater muscular activity in the athletes or by the athletes' forward traction produced by the system (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Álvarez-Herms, 2022).

Although possible changes in SR produced by OS stimuli could be expected due to coordination and neuromuscular adjustments also dependent on individuality (A. Mero et al., 1992; Schiffer, 2011; Sugiura & Aoki, 2008), these have not been

demonstrated in previous studies (Corn, RJ; Knudson, 2003; A. Mero & Komi, 1985). The results previously stated in a study published by our group (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Álvarez-Herms, 2022) report data similar to those obtained in the present study (See Table 2), with non-significant reductions with 2 and 4 kg and a slight non-significant increase with 5.25 kg. In this regard, several authors hypothesized about the possible causes: (1) Mero and Komi (A. Mero & Komi, 1985) indicated the possibility that a higher sporting level predisposes to higher SR values, and (2) Van den Tillaar (Roland Van den Tillaar, 2021) stated that a greater experience with the device could also influence the differences.

The significant increases in the biomechanical variable HD are related to a potential increase in braking forces and a lower specificity of the exercise (D. A. Clark et al., 2009). In the study by Clark et al. (D. A. Clark et al., 2009) with different loads generated by elastic bands, only the load of 4.7% of the BW led to significant increases in HD (+ 5.7% ($p < 0.046$)); therefore, it is recommended not to use these loads or higher ones. In our study (See Table 2), the 2 kg load led to non-significant increases, unlike the 4 and 5.25 kg loads. Therefore, the recommended loads should be close to 2 kg ($3.47\% \pm 0.68$ of BW).

The device used in this study (1080 Sprint) allows for selecting the assistance loads in kg. However, the expression in absolute values in kg does not provide enough information to be able to replicate training situations. For this reason, a way to express the values in a relative manner would be to express them with respect to the % of the BW described here.

In Table 1, we can see the % of BW that each one of the loads implies, divided by gender and for the entire sample. It is observed that the same load implies a higher % of BW for females, as the article by Van den Tillaar (Roland Van den Tillaar, 2021) also shows, which provides us the data organized by loads and gender

(3 kg: 4,0% men to 4.9% women; 4 kg: 5,4% men to 6.6% women; 5 kg: 6.7% men to 8.2% women), and highlights that the use of the same load with different BW and gender should be modified. The values of other studies with motorized TS are 14.8–22.2% (Bosco & Vittori, 1986); 3.5% (A Mero et al., 1987); $7.1\% \pm 0.6\%$ (Sugiura & Aoki, 2008); $9.9\% \pm 0.9\%$ (K. Clark et al., 2021) with a single load and male athletes in all of them, from 4% for 3 kg, 5.3% for 4 kg and 6.7% for 5 kg (Roland Van den Tillaar, 2018) also only with men.

From the analysis of the acute effects, we should be able to select the minimum load that allows for overcoming the speed barrier without deteriorating the individual running speed pattern (K. Clark et al., 2021; Sedláček et al., 2015; Roland Van den Tillaar, 2021), analyzing the differences in SL, SR, CT, FT and HD, which should not differ significantly between assisted and unassisted conditions. Van den Tillaar (Roland Van den Tillaar, 2021), in line with this statement, also pays special attention to the need for individualization, recommending loads of 4 and 5 kg based on his data. With the results of our study (See Table 2 and Figure 1), the chosen load would be between 2 kg ($3.47\% \pm 0.68\%$ BW) and 4 kg ($6.94 \pm 1.35\%$ BW), being individually adjusted to each athlete. A weight load of 5.25 kg ($9.07 \pm 1.52\%$ BW) would be considered excessive.

These recommendations become even more important for the application of OS training in young athletes, mainly due to the risk of injury and to the possibility of not having a stable specific running pattern (Schiffer, 2011). Our sample consists of post-PHV and experienced in speed training athletes, as can be seen in Table 1. Only two studies (D. A. Clark et al., 2009; K. Clark et al., 2021), under our acknowledgment, have reported results in adolescents. Clark et al. (K. Clark et al., 2021) used the 1080 Sprint with a single load of 7 kg (9.9% BW) on 14 males (18.0 ± 2.5 years) of superior athletic level; thus, their results are not fully comparable with ours. The same authors recommend conducting studies with the same

device with different ranges of loads, as in our pilot study. In contrast, the study by Clark et al. (D. A. Clark et al., 2009) would allow us to compare the results and conclusions, especially in females, but it is a study carried out with elastic bands. Their recommendations to use 3.8% BW loads, in a sample of six males (19.7 ± 3.7 years) and four females (17.5 ± 3.1 years), are similar to ours.

In addition to the above, some other important methodological aspects in the search for a method appeared: the need to standardize the distances covered, the time of data collection, and the distances covered with and without assistance. Van den Tillaar's studies (Roland Van den Tillaar, 2021, 2018) provide data from a complete race over 60 m, including the acceleration and maximum speed phases, while other studies (Bosco & Vittori, 1986; K. Clark et al., 2021; A Mero et al., 1987; Sugiura & Aoki, 2008) and ours correspond to the maximum flying speed after previous accelerations of between 20 and 60 m and with data collection areas between 5 and 20 m. Specifically, in our study, the athletes received no assistance during the first 20 m. According to Van den Tillaar (Roland Van den Tillaar, 2021), the influence of the assisted load is hardly noticeable in the first phase of acceleration, probably due to the posture of the athletes and the acceleration phase. As a limitation to the present study, we observed the lack of a control group that would allow for analyzation of the differences if receiving assistance throughout the race.

Moreover, other limitations of the present study are the heterogeneity in gender, athletic disciplines and sports level. With this pilot study, we propose that other researchers can replicate or modify our methodology to expand knowledge about OS training and the use of these devices. At the same time, the possibility of reproducing the present study in the future with the same sample and athletes will report changes with training experience and

biological maturation related to hormonal and strength-specific characteristics.

Although the analysis of the effects of acute exposure to OS does not provide conclusive data on the effectiveness of the method in the medium or long term, it helps us to understand the type of stimulus that TS produces and the loads associated with it on the kinematic parameters of running at maximum speed, highlighting the need for individualization according to gender, age, sports level or experience with this training method.

5. Conclusions

The MRS is acutely increased by the OS conditions generated with the 1080 Sprint device, with variations according to the assisted load used. This increase in MRS is mainly attributed to the increase in SL and the reduction in CT, possibly due more to the action of the device than to greater muscular activity of the athlete.

The magnitude of assisted speed loads should be quantified in a standardized and relative way to the individual characteristics of the athlete. One option would be to express them as a % of the BW. The loads should lead to increases in MRS beyond the speed barrier of the athletes, altering their technical running pattern as little as possible.

The use of the 1080 Sprint device and other similar devices is an excellent option to create replicable and adjustable OS conditions, since it allows the loads to be selected in a precise manner and provides immediate results. Due to this, an important qualitative change could be brought in the analysis of OS as an effective training method.

Future investigations should focus on analyzing the individual effects of OS training periods with TS on the improvement of MRS, and on discovering the mechanisms responsible for the possible changes as well as the optimal minimum dose, based on the analysis of electromyographic activity

and the application of reaction forces and/or physiological or epigenetic variables.

Author Contributions: Conceptualization, P.C.-G. and J.Á.-H.; methodology, P.C.-G., J.V.B.-G., and J.Á.-H.; software, P.C.-G. and J.V.B.-G.; formal analysis, P.C.-G. and J.V.B.-G.; original draft preparation, P.C.-G.; writing—review and editing, P.C.-G., A.O., J.V.B.-G., and J.Á.-H.; supervision, A.O. and J.Á.-H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethics Committee of the University of the Basque Country (protocol code M10_2021_191).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study and from their legal guardians in the case of minors.

Data Availability Statement: In this link, <https://drive.google.com/drive/folders/1V1W5-uoHCnKqtMws9OUQqSarTbRbI8BG?usp=sharing>, data supporting reported results can be found.

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

References

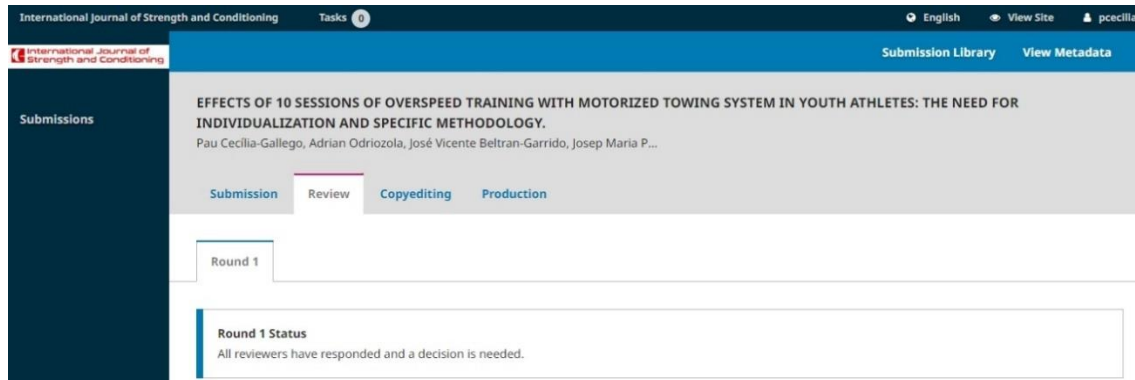
1. Clark, K.; Cahill, M.; Korfist, C.; Whitacre, T. Acute kinematic effects of sprinting with motorized assistance. *J. Strength Cond. Res.* **2021**, *35*, 1856–1864. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003051>.
2. Mero, A.; Komi, P.V.; Gregor, R.J. Biomechanics of sprint running. A review. *Sport. Med.* **1992**, *13*, 376–392. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213060-00002>.
3. Cronin, J.; Hansen, K.; Kawamori, N.; Mcnair, P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sport. Biomech.* **2008**, *7*, 160–172. <https://doi.org/10.1080/14763140701841381>.
4. Ebben, W.P. The optimal downhill slope for acute overspeed running. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2008**, *3*, 88–93. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.1.88>.
5. Hauschildt, M.D. Integrating high-speed treadmills into a traditional strength and conditioning program for speed and power sports. *Strength Cond. J.* **2010**, *32*, 21–32. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181cadd9>.

6. Sugiura, Y.; Aoki, J. Effects of supramaximal running on stride frequency and stride length in sprinters. *Adv. Exerc. Sport. Physiol.* **2008**, *14*, 9–17.
7. Van den Tillaar, R. Comparison of development of step-kinematics of assisted 60 m sprints with different pulling forces between experienced male and female sprinters. *PLoS ONE* **2021**, *16*, e0255302. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0255302>.
8. Corn, R.J.; Knudson, D. Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *J. Strength Cond. Res.* **2003**, *17*, 72–75. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0072:EOECTO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0072:EOECTO>2.0.CO;2).
9. Schiffer, J. Training to overcome the speed plateau. *IAAF New Stud. Athl.* **2011**, *26*, 7–16.
10. Cecilia-Gallego, P.; Odriozola, A.; Beltran-Garrido, J.V.; Álvarez-Herms, J. Acute effects of overspeed stimuli with towing system on athletic sprint performance: A systematic review with meta-analysis. *J. Sports Sci.* **2022**, *40*, 704–716. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2015165>.
11. Mero, A.; Komi, P.V.; Rusko, H.; Hirvonen, J. Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *Int. J. Sports Med.* **1987**, *8* (55–60). <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025704>.
12. Mero, A.; Komi, P.V. Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *J. Appl. Biomech.* **1985**, *1*, 240–252. <https://doi.org/10.1123/ijbsb.1.3.240>.
13. Sedláček, J.; Krska, P.; Kostial, J. Use of supramaximal speed mean in maximal running speed deppment. *Gymn. Sci. J. Educ. Sport. Health* **2015**, *16*, 39–50.
14. Van den Tillaar, R.; Gamble, P. Comparison of step-by-step kinematics and muscle activation of resisted, assisted, and unloaded 30-m sprints in sprinters. *Transl. Sport. Med.* **2018**, *1*, 151–159. <https://doi.org/10.1002/tsm2.27>.
15. Clark, D.A.; Sabick, M.B.; Pfeiffer, R.P.; Kuhlman, S.M.; Knigge, N.A.; Shea, K.G. Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1162–1168. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194df84>.
16. Van den Tillaar, R. Comparison of step-by-step kinematics of normal and assisted 60 m sprints with different loads in experienced sprinters. In Proceedings of the 36th Conference of the International Society of Biomechanics in Sport, Auckland, New Zealand, 10–14 September 2018; pp. 142–145.
17. Lahti, J.; Jiménez-Reyes, P.; Cross, M.R.; Samozino, P.; Chassaing, P.; Simond-Cote, B.; Ahtiainen, J.; Morin, J.-B. Individual sprint Force-Velocity profile adaptations to in-season assisted and resisted velocity-based training in professional rugby. *Sports* **2020**, *8*, 74. <https://doi.org/10.3390/sports8050074>.
18. Salkind, N.J. *Encyclopedia of Research Design*; Salkind, N., Ed.; SAGE Publications Inc.: Thousand Oaks, CA, USA, 2010.
19. Mirwald, R.L.; Baxter-Jones, A.D.G.; Bailey, D.A.; Beunen, G.P. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>.

20. Padullés-Riu, J.M. *Valoración de los Parámetros Mecánicos de Carrera. Desarrollo de un Nuevo Instrumento de Medición*; University of Barcelona (UB): Barcelona, Spain, 2011.
21. Buscà, B.; Quintana, M.; Padullés-Riu, J.M. High-speed cameras in sport and exercise: Practical applications in sports training and performance analysis. *Aloma Rev. Psicol. Cièn. l'educ. L'esport Blanquerna* **2016**, *34*, 11–24.
22. Puig-Diví, A.; Padullés-Riu, J.M.; Busquets-Faciabén, A.; Padullés-Chando, X.; Escalona-Marfil, C.; Marcos-Ruiz, D. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angular and distance dimensions. *PrePrints* **2017**, 2017100042. <https://doi.org/10.20944/preprints201710.0042.v1>.
23. Reinking, M.F.; Dugan, L.; Ripple, N.; Schleper, K.; Scholz, H.; Spadino, J.; Stahl, C.; McPoil, T.G. Reliability of two-dimensional video-based running gait analysis. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2018**, *13*, 453–461.
24. Romero-Franco, N.; Jiménez-Reyes, P.; Castaño-Zambudio, A.; Capelo-Ramírez, F.; Rodríguez-Juan, J.J.; González-Hernández, J.; Toscano-Bendala, F.J.; Cuadrado-Peñafiel, V.; Balsalobre-Fernández, C. Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *Eur. J. Sport Sci.* **2017**, *17*, 386–392. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1249031>.
25. Turner, A.; Brazier, J.; Bishop, C.; Chavda, S.; Cree, J.; Read, P. Data analysis for strength and conditioning coaches : Using Excel to analyze reliability, differences, and relationships. *Strength Cond. J.* **2015**, *37*, 76–83. <https://doi.org/10.1519/SSC.000000000000113>.
26. Cormack, S.J.; Newton, R.U.; McGuigan, M.R.; Doyle, T.L.A. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2008**, *3*, 131–144. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.131>.
27. Koo, T.K.; Li, M.Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J. Chiropr. Med.* **2016**, *15*, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>.
28. Lakens, D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front. Psychol.* **2013**, *4*, 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>.
29. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>.
30. Bosco, C.; Vittori, C. Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. *New Stud. Athl.* **1986**, *1*, 39–45.

9.3. Anexo 3: Estudio preliminar enviado a revista para su posible publicación.

Actualmente se halla enviado a la revista International Journal of Strength and Conditioning en proceso de revisión en fecha 13 de junio de 2023.



EFFECTS OF 10 SESSIONS OF OVERSPEED TRAINING WITH MOTORIZED TOWING SYSTEM IN YOUTH ATHLETES: THE NEED FOR INDIVIDUALIZATION AND SPECIFIC METHODOLOGY.

Authors:

Pau Cecilia-Gallego^{1,2}, Adrián Odriozola^{3,4,5}, José Vicente Beltran-Garrido^{1,6}, Josep Maria Padullés-Riu², Jesús Álvarez-Herms^{3,4,5}.

Affiliations:

¹Health and Sport Sciences University School (EUSES), Rovira i Virgili University, 43870 Amposta, Spain.

²National Institute of Physical Education (INEFC), University of Barcelona, 08038 Barcelona, Spain.

³Sport Genomics Research Group, Department of Genetics, Physical Anthropology and Animal Physiology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country (UPV/EHU), 48940 Leioa, Spain.

⁴*KDNA Genomics®*, University of the Basque Country UPV/EHU, Joxe Mari Korta Research Center, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain.

⁵*Phymo® Lab*, Physiology and Molecular laboratory. 40170 Collado Hermoso, Spain.

⁶*Department of Education and Specific Didactics, Faculty of Humanities and Social Sciences, Universitat Jaume I, 12071 Castellón de la Plana, Spain.*

Correspondence author:

Name: Pau Cecilia-Gallego

E-mail: pau.cecilia@euseste.es

Address: EUSES TE – URV; C/ Sebastià Joan Arbó, 2, 43870 Amposta, Tarragona (Spain).

+0034 977448093

Authors contribution and information:

PAU CECILIA-GALLEGO: Research concept and study design, literature review, data collection, data analysis and interpretation, writing of the manuscript.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6729-5275>

Twitter: @paucg_amposta

ADRIÁN ODRIÓZOLA: Research concept and study design, reviewing and editing the manuscript.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1109-1492>

JOSÉ VICENTE BELTRAN-GARRIDO: Data analysis and interpretation, statistical analysis, writing and reviewing of the manuscript.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9286-8453>

Twitter: @Vic_BelGa

JOSEP MARÍA PADULLÉS-RIU: Literature review, reviewing and editing of the manuscript.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0531-7459>

Twitter: @jmpadu

JESÚS ÁLVAREZ-HERMS: Research concept and study design, literature review, reviewing and editing of the manuscript.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3414-7065>

Twitter: @Jesusah80

TITLE

**EFFECTS OF 10 SESSIONS OF OVERSPEED TRAINING WITH
MOTORIZED TOWING SYSTEM IN YOUTH ATHLETES: THE
NEED FOR INDIVIDUALIZATION AND SPECIFIC
METHODOLOGY.**

ABSTRACT

The current towing system (TS) devices are highly precise when selecting loads and achieving results. An increased use could expand the theoretical body on the effects of overspeed (OS) methods. Our objectives were to analyze the results of an OS with TS intervention on the maximum running speed (MRS), the step length and rate, the flight and contact time and the distance to the first support from the vertical projection of the center of masses, as well as to make a methodological proposal. Six young athletes (16.71 ± 2.00 y) performed ten OS sessions with an assistance of $5.05 \pm 0.53\%$ of body weight at $105.83 \pm 1.79\%$ of MRS, using the 1080Sprint. After the intervention, non-significant ($p > 0.05$) increases of 2.94% (95%CI: 0.25 - 5.62) of the voluntary MRS were obtained with a large effect size ($d: 0.89$; 95%CI: -0.10 - 1.82). The distance to the first support from the vertical projection of the center of masses presented significant differences ($p < 0.05$; $d: 1.21$ 95%CI: -1.36 - 0.36). The non-significant MRS increases cannot be neglected in high-level competition, where small differences in performance separate

athletes. To choose the appropriate training load is key, and so a standardized methodology allowing the comparison of results is necessary.

KEYWORDS

Assisted sprint; effect size; responders; individualization, ecological approach.

INTRODUCTION

In the field of sports training, overspeed (OS) is widely used by coaches (Schiffer, 2011) for the improvement of maximum running speed (MRS). One of the most widely used methods to generate OS stimuli is the towing system (TS), which consists of stretching the athlete from the front, both with non-motorized (D. A. Clark et al., 2009; Kristensen et al., 2006; A. Mero & Komi, 1985; Stoyanov, 2019) and motorized devices (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Alvarez-Herms, 2022; K. Clark et al., 2021; A Mero et al., 1987; Sugiura & Aoki, 2008; Roland Van den Tillaar, 2021). Among the motorized TS devices currently available on the market, we highlight the 1080Sprint (1080 Motion, Lidingö, Sweden; <https://1080motion.com/products/1080-sprint/>) and the Dynaspeed (Ergotest Technology AS, Langesund, Norway; <https://www.musclelabssystem.com/dynaspeed/>), which allow the loads to be selected by means of an electromechanical system, based on an electric motor controlled by its own software, which gives us clear and immediate results (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Alvarez-Herms, 2022; K. Clark et al., 2021; Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020; Roland Van den Tillaar, 2021).

There is currently little scientific evidence in this field of study that allows determining the real validity of OS training with TS for the improvement of the MRS. Most of the available studies offer acute data on OS exposure in athletes, as confirmed Cecilia-Gallego et al. (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Álvarez-Herms, 2022), whose main conclusions are: 1) that it is not possible to determine whether these effects are due to the action of the athlete's forward pulling system or increased muscle activity, and 2) that many more studies with intervention periods are needed to determine whether OS training with TS produces adaptations that allow to improve the MRS. In addition, these studies present great methodological variability in the TS used, in the study participants, in their athletic level, age, sex or grade of familiarity with the devices, as

well as in the scale and expression of the training load. Among the rare studies found that include a training period for OS with TS are those by Majdell & Alexander (Majdell & Alexander, 1991) with American football players, Kristensen et al. (Kristensen et al., 2006) with physical education students, Lahti et al. (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020) with rugby players, or Stoyanov (Stoyanov, 2019) with young sprinters.

An important concept provided by the study by Lahti et al. (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020), is the response capacity of athletes to OS training with TS. The concept of responders, or subjects that respond to training in the expected sense, has been widely studied (T. N. Mann et al., 2014; Pickering, Craig; Kiely, 2017; Pickering & Kiely, 2019) and one of the main conclusions reached is not the existence of responders (or high-responders) and non-responders (or low-responders) (T. N. Mann et al., 2014; Pickering & Kiely, 2019), but the problem lies in the training load used and its dosage. (T. N. Mann et al., 2014). In other words, if an athlete does not respond to a certain training, it is possibly due to a poor choice and dosage of the training load (Pickering & Kiely, 2019). The parameters should then be adjusted until finding those that produce changes in performance, and the individualization of the training load must be sought (Pickering, Craig; Kiely, 2017).

Currently, there are studies that propose an ecological approach to training, further removed from laboratory conditions (Araújo et al., 2006; Torrents, 2005), and introducing OS training into the global planning of athletes, as in the studies by Stoyanov (Stoyanov, 2019) or Lahti et. al (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020). It should be noted that the existing literature on OS does not particularly recommend overspeed training in young or inexperienced athletes, mainly due to the risk of injury and the possibility of not having a stable technical pattern that could be negatively modified (Schiffer, 2011). Therefore, it is necessary to know the maturity status of the participants (Mirwald et al., 2002), as well as to ensure familiarity with the devices and OS conditions.

Taking this background into account and seeking an ecological approach, it was decided to carry out an intervention study, within the overall training planning, of 10 OS sessions with young athletes using the 1080Sprint device. The main objective of the study was to analyze the effects of OS training with TS on the MRS of the participants and other kinematic and biomechanical variables that could explain the effects produced. The proposed hypothesis was that the intervention would produce an increase in the MRS of

the participants, although with different effects depending on their individual characteristics. In addition, we understand this study as a proposal for a training methodology that can be replicated in order to compare results and establish broader conclusions about OS training with TS in young athletes.

MATERIALS AND METHODS

Experimental approach to the problem

Following a within-subject design, 10 OS training sessions were performed with a motorized TS. The time variables in 5 meters sprint (T5m), MRS in 5 meters sprint (V5m), step length (SL), step rate (SR), contact time (CT), flight time (FT) and horizontal distance from the first contact of the support on the ground to the vertical projection of the center of masses (HD) were recorded in a maximum unassisted sprint and in three assisted sprints with different loads. The results obtained in the different conditions, before and after training, were compared to assess their effect. The results between conditions at each moment were also compared to determine the effect of each OS load on the different variables with respect to the MRS. The intervention took place during the mesocycle prior to the indoor competitions. *Table 1* shows the schedule for the entire intervention period.

Table 1: Weekly training schedule during the intervention.

Week	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Week -1			Fam 1 / Anth 1	Rest	Fam 2 / Anth 2	Rest	Rest
Week 1	Pre-Test	ST & TT	OS S1	TT	OS S2	Rest	Rest
Week 2	OS S3	ST & TT	OS S4	TT	OS S5	Rest	Rest
Week 3	OS S6	ST & TT	OS S7	Rest	OS S8	Rest	Rest
Week 4	OS S9	ST & TT	OS S10	Rest	TT	Rest	Rest
Week 5	ST & TT	Rest	Post-Test				

Fam: familiarization session with 1080Sprint; Anth: anthropometric measures; ST: strength training; TT: technical training; OS S: overspeed sessions

Subjects

A convenience sample of eight young athletes was recruited. Two of them did not finish due to muscular problems, so in the end six athletes were included in the study (2 males / 4 females). Anthropometric data were recorded by an ISAK Level 1 certified evaluator (Esparza-Ros, F.; Vaquero-Cristóbal, R.; Marfell-Jones, 2019) following the International Society for Advancement of Kinanthropometry (ISAK) protocol. The calculation of the maturity status of the participants was carried out following the indications of Mirwald et al. (Mirwald et al., 2002). The characteristics of the sample can be consulted in *Table 2*.

The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of University (BLINDED) (protocol code (BLINDED)). Informed consent and assent were obtained from all subjects and from their parents when the participants were minors.

Table 2: Participants characteristics and % of body weight of every assisted load.

Athletes	Chronologic al Age (y)	Years to PHV	Years of training	Height (cm)	Weight (kg)	% Body Fat	% BW 2kg	% BW 4kg	% BW 5.25kg	PB 60m (s)
F1	19.5	+ 5.8	7	170.0	63.4	16.7	3.2	6.3	8.3	8.33
F2	18.7	+ 4.3	5	150.4	57.8	22.6	3.5	6.9	9.1	8.94
M1	16.7	+ 2.9	6	179.6	65.8	7.6	3.0	6.1	8.0	7.69
F3	15.5	+ 3.4	4	166.0	56.7	12.3	3.5	7.1	9.3	8.13
F4	15.1	+ 2.0	5	151.3	39.4	11.6	5.1	10.2	13.3	8.35
M2	14.7	+ 1.6	4	176.7	60.2	7.3	3.3	6.7	8.7	7.63
Mean \pm SD	16.71 \pm 2.00	3.33 \pm 1.54	5.17 \pm 1.17	165.6 \pm 12.45	57.2 \pm 9.38	13.0 \pm 5.83	3.6 \pm 0.75	7.2 \pm 1.50	9.4 \pm 1.97	8.18 \pm 0.48

PHV: peak height velocity; % BW: percentage of body weight of every overspeed load; F: female; M: male; PB: personal best for 60m-dash; SD: standard deviation.

Procedures

The athletes carried out two familiarization sessions with the motorized TS before the intervention. Anthropometric data collection was also conducted during these sessions. From these familiarization sessions on, the loads chosen for the pre-test were those that could produce approximate 3-5% increases over the athletes' MRS (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Alvarez-Herms, 2022).

On the pre-test and post-test data collection days, the athletes performed a standardized warm-up similar to that of Clark et al. (K. Clark et al., 2021). They then performed one maximal unassisted sprint and three assisted sprints with progressively higher loads (2 kg, 4 kg, and 5.25 kg). Recovery time between repetitions was 8-10 minutes. The % of the loads with respect to the body weight of each participant is shown in *Table 2*.

From the pre-test on, individual loads were selected for the training sessions, and those that produced an approximate increase of 103-105 in the athlete's maximum speed were used (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Alvarez-Herms, 2022; D. A. Clark et al., 2009; Sedláček et al., 2015). However, the load used during the races of the training sessions could be modified depending on the result obtained in the MRS for each one of them, increasing or decreasing it in order to adjust it to the objective of 103-105% in each race. In other words, the important element was not the load, but its result. This could be done thanks to the Quantum software (v3.9.9.5, 1080 Motion, Lidingö, Sweden) that incorporates the device used, the 1080Sprint, which immediately offers values of time and speed over the distance traveled. The average load of all the races performed by each athlete is shown in *Table 3*, expressed in absolute terms (kg) and as a percentage relative to the athlete's body weight.

Table 3: Intervention parameters.

Athlete	Δ Vel OS1 (%)	Δ Vel OS2 (%)	Δ Vel OS3 (%)	Load S1 (kg)	Sessions (n)	OS runs (n)	Exp Time (s)	Mean Load (kg)	% BW Load	Mean Time (s)	Mean Velocity (m/s)	V30m S1 (m/s)	PB V30m (m/s)	% Dif V30m	Sess PB V30m
F1	0.11	4.12	5.86	3	10	64	228.99	2.99	4.7	3.58	8.39	7.98	8.29	3.87	S10
F2	5.90	6.33	6.19	2	10	63	242.42	2.81	4.9	3.85	7.80	7.28	7.87	8.14	S10
M1	2.87	2.65	3.72	5	10	63	208.75	3.68	5.6	3.31	9.06	8.55	8.75	2.33	S10
F3	6.45	4.15	15.09	3	10	63	216.79	2.63	4.6	3.44	8.72	8.24	8.43	2.25	S10
F4	3.23	11.40	10.93	2.5	10	58	214.38	2.30	5.8	3.70	8.11	7.87	8.04	2.14	S10
M2	-2.44	2.78	8.42	4	10	61	201.89	2.78	4.6	3.31	9.07	8.38	8.80	4.99	S8
Mean	2.69	5.24	8.37	3.25		62.00	218.87	2.87	5.05	3.53	8.52	8.05	8.36	3.95	
\pm SD	3.40	3.30	4.11	1.08		2.19	14.64	0.46	0.53	0.22	0.52	0.41	0.34	3.14	

F: female; M: male; SD: standard deviation; Δ Vel OS: velocity increases for overspeed load (1: 2kg; 2: 4kg; 3: 5.25kg); Load S1: load selected for session 1; OS runs: total runs of overspeed during the intervention; Exp Time: total time of exposure to overspeed conditions; Mean Load: mean load values of all overspeed runs; % BW Load: % body weight of mean load values; Mean Time: mean time values of all overspeed runs; Mean Velocity: mean velocity values of all overspeed runs; V30m S1: session 1 velocity over 30-m without assistance; PB V30m: personal best velocity value in 30-m without assistance during the intervention sessions; % Dif V30m: percentage differences 30-m session 1 velocity to 30-m best velocity value; Sess PB V30m: number of session where the personal best velocity value was achieved.

The OS sessions were held on an outdoor synthetic running track and were planned as follow: 1) standardized warm-up (K. Clark et al., 2021) and; 2) main part of the training consisting of a race with the 1080Sprint device and zero load as an initial test of the session, plus 6-8 assisted races with the selected load for each athlete with 8-10 minutes recovery time between races. The number of races for each athlete was individually adjusted according to fatigue and the % of MRS achieved. All athletes performed a total of 10 sessions. The number of races attended by each athlete and the total exposure time is shown in *Table 3*. The initial unassisted sprint using the 1080Sprint device of each session was named the V30m variable and was carried out with a double purpose, 1) to estimate the fitness level of each athlete in each session in order to adjust the loads, and 2) collect data from the athletes to see their evolution during the intervention.

The assistance in the sprint was carried out using the 1080Sprint device. The athlete was attached with a belt and a carabiner to the device's fiber cable. The 1080Sprint device is provided with 90 m of cable that is mechanically rolled or unrolled by a servo motor (2000 rpm G5 Series Motor; OMRON Corp. Kyoto, Japan), which is controlled by the Quantum software (1080 Motion). The 1080Sprint device was placed at a height of 80 cm so that the trajectory of the assistance was as horizontal as possible. In the Isotonic assisted mode, the 1080Sprint device allows to adjust the load between 1 and 15 kg, with variations of 0.1 kg. This device allows choosing the times it should offer assistance. It was decided not to apply assistance during the first 20 meters of the race, so as not to affect the acceleration phase, but also taking into account that Van den Tillaar (2021) comments that he does not observe differences between MRS and supramaximum speed in the first acceleration phase. The athlete then received assistance for the next 30 meters. At meter 50, the device stopped offering assistance and the athlete progressively braked for approximately 20 meters until movement came to a complete stop. During the assisted 30 meters, the Quantum software provided time and speed data for that interval. These data were used to control the load used based on the results of the pre-test and of each of the races of the intervention sessions.

Assessments

The T5m (s) and V5m (m/s) variables were obtained with single-beam timing gates (www.chronojump.org/product-category/races/) (Vicens-Bordas et al., 2020), located at

a height of 1 m and connected to a laptop (Toshiba Satellite Pro R50-B-10v) with the Chronojump software (version 1.9.0, www.chronojump.org/software/) and were recorded between meter number 40 and meter number 45 of each sprint (Padullés-Riu, 2011). To obtain the SL (cm), CT (s), FT (s) and HD (cm) variables, the attempts were recorded with a Casio Exilim F1 camera (http://arch.casio-intl.com/asia-mea/en/dc/ex_f1/) at 300fps (Buscà, B.; Quintana, M.; Padullés-Riu, 2016) and analyzed twice in two consecutive steps, approximately between meter number 42.5 and meter number 47.5, with Kinovea 2D analysis software (stable version 0.8.15, www.kinovea.org/download.html) (Puig-Diví, A.; Padullés-Riu, J.M.; Busquets-Faciabén, A.; Padullés-Chando, X.; Escalona-Marfil, C.; Marcos-Ruiz, 2017; Reinking et al., 2018). The values of these variables correspond to the average value of the two legs in two consecutive steps. The camera was placed perpendicular to the meter number 45 of the race at a distance of 13 m from the race line and at a height of 1.5 m. The Parallax effect was counteracted by putting references between meter number 40 and meter number 50, in the projection where athletes actually are shown on camera when they cross that distance (Romero-Franco et al., 2017). Markers were placed on the femoral head and metatarsal of the right leg. The SR variable was calculated indirectly (number of steps / step time [CT + FT]). The V30m (m/s) variable was obtained with the data from the 1080Sprint during the 30-meter sprint of the initial unassisted sprint of each session.

Statistical analyses

The normality of the distribution of the data was checked using the Shapiro–Wilk test. To assess within-group changes from pretest to posttest of the kinematic variables scores, paired sample t-tests were used. To quantify within-group differences following the intervention, the standardized mean difference Cohen’s d_z effect size (ES) was calculated using the formula $d_z = t/\sqrt{n}$ (Lakens, 2013) and the percentage change was computed. To assess the V30m variable differences between sessions, a one-way repeated measures ANOVA was used. If a significant main effect was reported (i.e., $p \leq 0.05$), planned contrasts were specified to assess the between-sessions differences. A simple planned contrast was applied to compare the mean of each session (S2 to S10) to the mean of the S1 session. ESs were interpreted as follow: <0.2 = trivial; 0.2 – 0.6 = small; 0.6 – 1.2 = moderate; 1.2 – 2.0 = large; and >2.0 = very large (Hopkins et al., 2009); for all variables

except V5m, which was interpreted as follow: <0.07 = small; $0.07 - 0.36$ = small; $0.37 - 0.69$ = medium; and ≥ 0.70 = large (Swinton et al., 2022). The level of significance was set at 0.05 for all tests. All statistical analyses were performed using JASP for Mac (version 0.16.4; JASP Team (2021), University of Amsterdam, The Netherlands).

RESULTS

The pretest to posttest changes of the kinematic variables scores at different OS conditions are shown in *Table 4*. The forest plot with the ESs of the kinematic variables at V0 condition are shown in *Figure 1*.

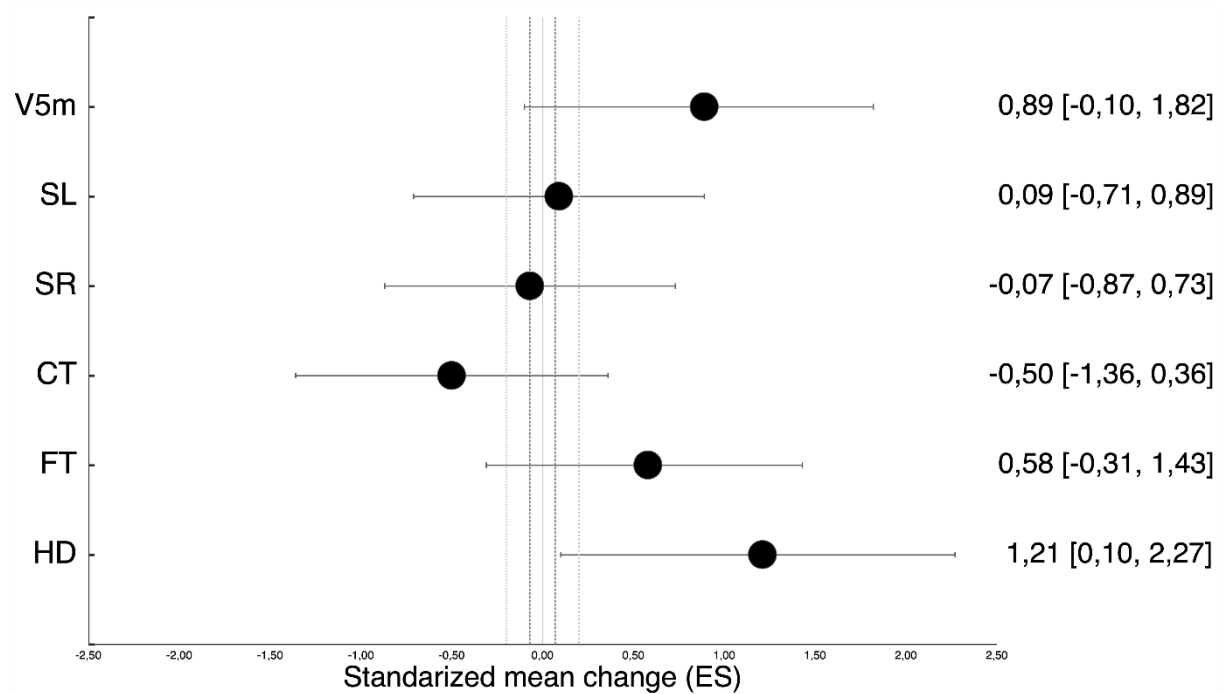


Figure 1. Forest plot with the effect sizes of the kinematic variables at V0 condition. Black dashed lines delimit the trivial effect size magnitude for the mean velocity between 40-m and 45-m from a flying start (V5m) variable (i.e., -0.07 to 0.07). Grey dashed lines delimit the trivial effect size magnitude for the step length (SL), step rate (SR), contact time (CT), flight time (FT) and horizontal distance (HD) variables (i.e., -0.20 to 0.20).

Table 4: Pretest to posttest changes of the kinematic variables scores at different overspeed conditions and percentage change at V0 condition after training period.

Variable	Pre	Post	<i>d</i> (95% CI)	Qualitative assessment	Percentage change (95% CI)
V0					
V5m (m/s)	8.10 ± 0.53	8.33 ± 0.57	0.89 (-0.10, 1.82)	Large	+2.94 (0.26, 5.62)
SL (cm)	197.60 ± 13.40	198.33 ± 15.40	0.09 (-0.71, 0.89)	Trivial	+0.37 (-2.83, 3.56)
SR (steps·s ⁻¹)	4.27 ± 0.24	4.25 ± 0.19	-0.07 (-0.87, 0.73)	Trivial	-0.22 (-4.49, 4.04)
CT (s)	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.00	-0.52 (-1.36, 0.36)	Small	-2.98 (-7.46, 1.49)
FT (s)	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.58 (-0.31, 1.43)	Small	+2.81 (-0.98, 6.61)
HD (cm)	33.18 ± 4.24*	36.55 ± 4.53	1.21 (0.10, 2.27)	Large	+10.51 (3.36, 17.67)
OS1					
V5m (m/s)	8.31 ± 0.48*	8.65 ± 0.50	1.12 (0.04, 2.13)	Large	
SL (cm)	205.92 ± 14.81	207.32 ± 15.83	0.18 (-0.64, 0.98)	Trivial	
SR (steps·s ⁻¹)	4.28 ± 0.31	4.27 ± 0.21	-0.09 (-0.89, 0.72)	Trivial	
CT (s)	0.11 ± 0.00*	0.10 ± 0.00	-1.10 (-2.11, -0.03)	Moderate	
FT (s)	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.90 (-0.09, 1.98)	Moderate	
HD (cm)	34.83 ± 3.51	36.78 ± 4.40	1.00 (-0.03, 1.98)	Moderate	
OS2					
V5m (m/s)	8.52 ± 0.45*	9.19 ± 0.53	1.44 (0.23, 2.59)	Large	
SL (cm)	210.70 ± 17.46	220.37 ± 18.23	0.90 (-0.10, 1.84)	Moderate	
SR (steps·s ⁻¹)	4.25 ± 0.29	4.23 ± 0.23	-0.09 (-0.89, 0.72)	Trivial	
CT (s)	0.11 ± 0.00	0.10 ± 0.00	-0.58 (-1.43, 0.32)	Small	
FT (s)	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.53 (-0.35, 1.37)	Small	
HD (cm)	37.48 ± 3.88*	40.50 ± 2.80	1.47 (0.25, 2.64)	Large	
OS3					
V5m (m/s)	8.78 ± 0.66	9.09 ± 0.35	0.60 (-0.30, 1.45)	Medium	
SL (cm)	219.10 ± 15.51	225.43 ± 16.74	0.47 (-0.40, 1.30)	Small	
SR (steps·s ⁻¹)	4.25 ± 0.27	4.25 ± 0.19	0.00 (-0.80, 0.80)	Trivial	
CT (s)	0.11 ± 0.00	0.10 ± 0.00	-0.75 (-1.65, 0.19)	Moderate	
FT (s)	0.13 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.65 (-0.27, 1.51)	Moderate	
HD (cm)	38.78 ± 4.21	41.53 ± 3.67	0.97 (-0.05, 1.94)	Moderate	

Values are presented as mean ± standard deviation. V0: No overspeed load; OS: overspeed load (1: 2kg; 2: 4kg; 3: 5.25kg); V5m: Mean velocity between 40-m and 45-m from a flying start; SL: Step length; SR: Step rate; CT: Contact time; FT: Flight time; HD: Horizontal distance between the first contact point and the vertical projection of center of masses. *d*: Cohen's *d*z effect size. *: *p* ≤ 0.05 different to pretest values; CI: Confidence interval.

At V0 condition, statistical significance was achieved in the pre-post changes of HD with a large ES. Small ESs were reported in CT and FT variables. Trivial EFs were obtained in SL and SR variables and a large ES was obtained in the V5m variable (see *Table 4*). Percentage changes of the kinematic variables at V0 condition are shown in *Table 4*. Pre-post changes of the V5m, SL, SR, CT, FT, and HD variables are shown in *Figure 2*.

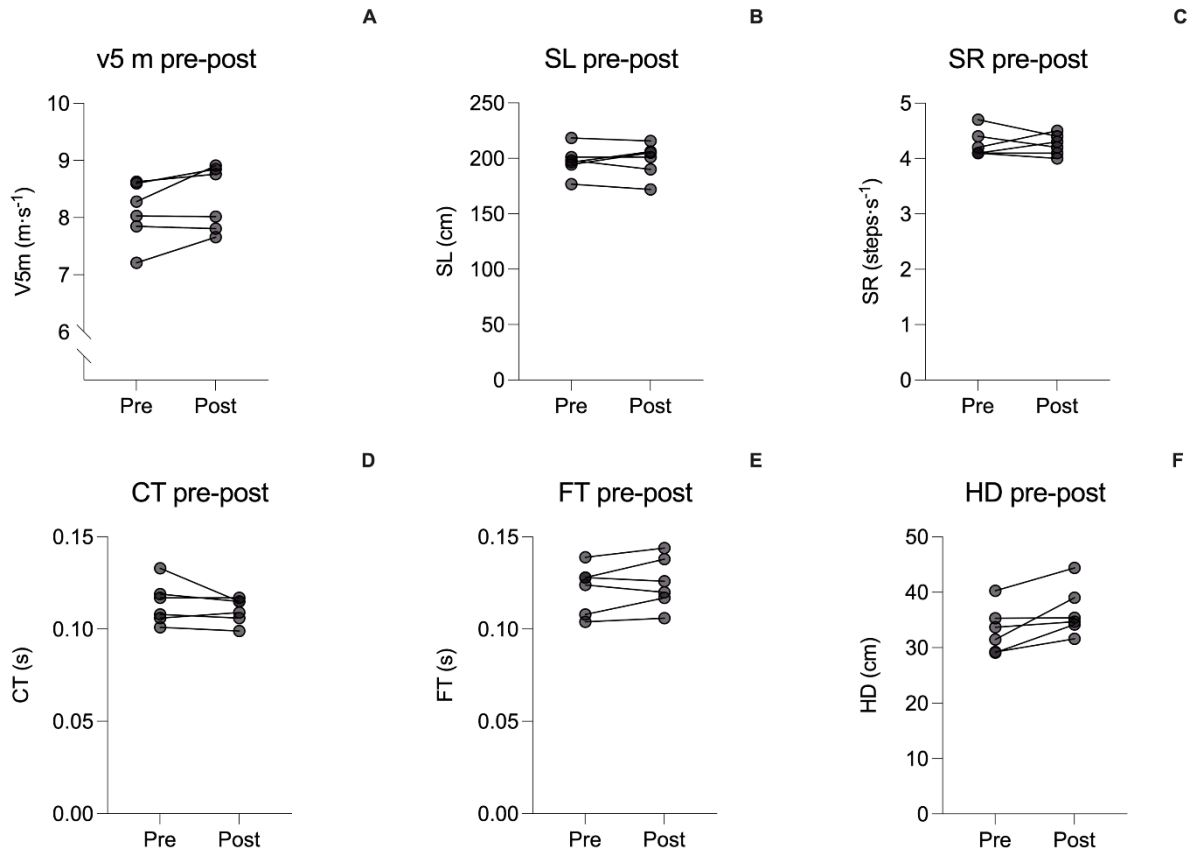


Figure 2. Pre-post change of each participant for the A) V5m variable; B) step length (SL), C) step rate (SR), D) contact time (CT), E) flight time (FT), and F) horizontal distance (HD) variables.

At OS1 condition, statistical significance was achieved in the pre-post changes of V5m and CT variables with respectively large and moderate ESs. Trivial ESs were reported in the SL and SR variables. Moderate ESs were obtained in the FT and HD variables (see *Table 4*).

At OS2 condition, statistical significance was achieved in the pre-post changes of V5m and HD variables with large ESs. A trivial ES was obtained in the SR variable. Small ESs

were obtained in CT and FT variables and a moderate ES was reported in the SL variable (see *Table 4*).

At OS3 condition, none pre-post changes achieved statistical significance. A trivial ES was obtained in the SR variable. Small ESs were reported in the SL variable and moderate ESs were obtained in the V5m, CT, FT, and HD variables (see *Table 4*).

The descriptive values of the V30m variable at different training sessions are shown in *Figure 3*. The mean differences between each training session and the S1 session are shown in *Figure 4*.

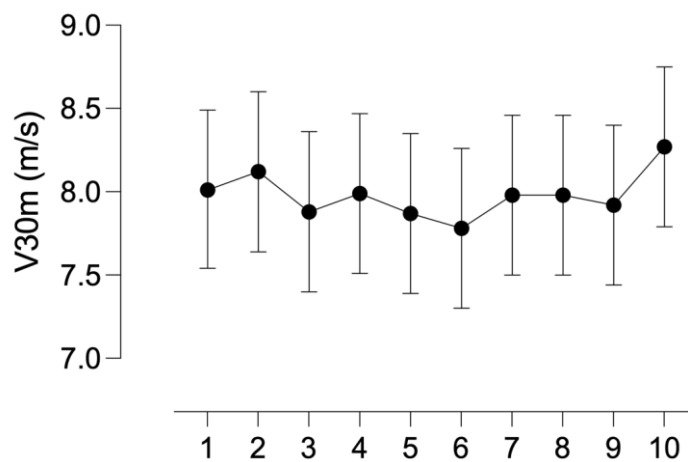


Figure 3. Mean and 95% confidence intervals values of mean velocity of 30-m from a flying start (V30m) variable at different training sessions.

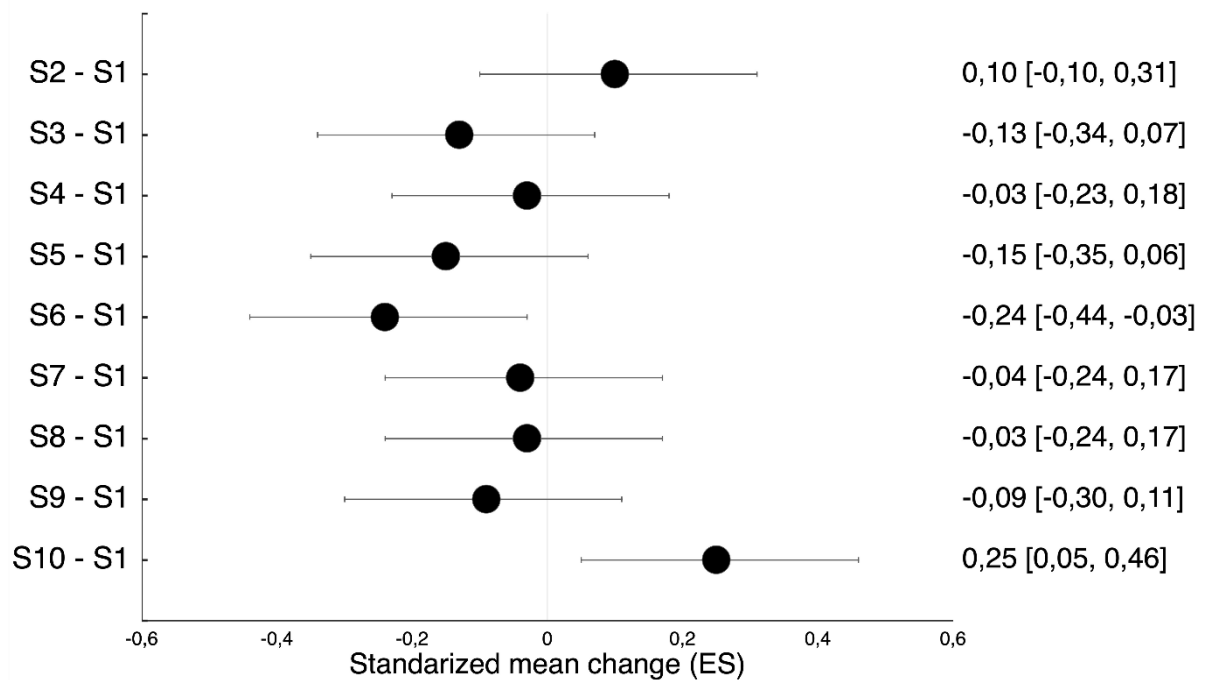


Figure 4. Mean differences and 95% confidence intervals values between mean velocity of 30-m from a flying start (V30m) of each training session and the S1 session.

A significant main effect of training session was reported in the V30m variable ($F = 3.73$, $p = 0.004$, $\omega^2 = 0.064$). The simple planned contrasts between the different training sessions (S2 to S10) and the first one (S1) revealed lower V30m values at S6 than at S1 ($MD = -0.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 95% CI [-0.44, -0.03], $p = 0.025$, $d = -0.45$, 95% CI [-0.83, -0.05]) and higher V30m values at S10 than at S1 ($MD = 0.25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 95% CI [0.05, 0.46], $p = 0.018$, $d = 0.48$, 95% CI [0.08, 0.86]). The other between sessions contrasts did not reach statistically significant values either (see Figure 3 and Figure 4).

DISCUSSION AND APPLICATIONS

After the intervention period, improvements in the MRS (V5m) of the athletes were observed, although they were not statistically significant ($p > 0.05$). However, the ES of this increase was large ($d: 0.89$; 95%CI: -0.10-1.82), following the parameters and indications of a recent study (Swinton et al., 2022), which specifically analyze the effects of the sprint training. MRS changes should be observed from an individual perspective and keeping in mind that athletic performance is multi-factorial. For this reason, without being statistically significant, the small percentages of improvement found in some

athletes could sometimes be decisive in the final result, especially in sprint events in athletics (Loturco et al., 2022; Salo et al., 2011). In the aforementioned study (Swinton et al., 2022), in sprint, the small ES are related to percentage increases between 0.4 and 2.1%, the medium ES with increases between 2.2 and 4.3% and the large ES with increases equal to or greater than 4.4%. In the unassisted MRS condition, significant differences ($p < 0.05$) were reported in HD with large ES ($d: 1.21$; 95%CI: 0.10-2.27), while in the other variables the differences were not significant and the ES were trivial or small (see *Table 4*), so the natural running pattern was not significantly affected.

In similar studies, increases in MRS appear after the intervention of OS with TS, although the methodological differences make it difficult to compare results. After 6 weeks of training, Majdell & Alexander (1991) obtain significant increases in MRS ($p < 0.05$) using motorized TS in varsity male football players ($23 \pm 2.73y$) while Kristensen et al. (2006) also report significant improvements in the MRS ($p < 0.05$) in physical education students ($22.0 \pm 2.6y$) with non-motorized TS after the intervention. Neither of the two studies showed significant differences in the kinematic variables except for support time (Majdell & Alexander, 1991) and step time (Kristensen et al., 2006), so it can be stated that the technical pattern of the sprint was not affected. On the other hand, Lahti et al. (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020), after 12.5 ± 0.7 OS training sessions with the 1080Sprint device in 10 male rugby players ($20.1 \pm 1.00y$), observed significant increases in MRS of $3.40 \pm 4.15\%$ ($p < 0.03$; ES: 0.47; 95% CI: -0.38 – 1.32) although they point out that only 5 of the 10 members of the group respond positively in the expected direction after training, reinforcing the need for load individualization. It can therefore be argued that the possible changes in the MRS of the athletes are due to neural and coordination improvements within the early phase of training (Kristensen et al., 2006), hence studies with longer intervention periods would be necessary.

However, as mentioned, the methodological heterogeneity of the studies is so wide that it is not possible to draw conclusions about OS training with TS beyond the study sample itself. This heterogeneity affects many factors that are typical of the sample such as sex, age, sports specialty, experience in training, but also the procedures used in the intervention in aspects such as the TS used, the loads, the distances, the intervention time, measurement instruments and procedures, variables analyzed, etc. Therefore, a second motivation of this study is to make some methodological proposals that can be replicated

to broaden the knowledge about OS training with TS and its effects. We believe that the fact of having devices such as the 1080Sprint used in this study should be exploited, especially when carrying out studies, due to their ability to monitor the training load and its effects in an individualized and immediate way (Cecilia-Gallego, Odriozola, Beltran-Garrido, & Alvarez-Herms, 2022; K. Clark et al., 2021; Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020; Roland Van den Tillaar, 2021), compared to other systems used, such as non-motorized TS (Kristensen et al., 2006) or elastic ropes (Stoyanov, 2019).

Studies similar to ours (Kristensen et al., 2006; Majdell & Alexander, 1991; Stoyanov, 2019) present differences in terms of age, sex and experience in training, the participants in our study being the youngest (see *Table 2*). Although there are some recommendations not to use OS training in young and inexperienced subjects (Schiffer, 2011), our subjects are in the post-PHV period (3.33 ± 1.54 y) (Mirwald et al., 2002), are enough experienced in speed training (5.17 ± 1.17 y) and were provided with 2 familiarization sessions with the device. Although there are hardly any studies based on OS training with TS in young people, the bibliography indicates that, in the post-PHV period, the improvements in MRS are mainly produced by an increase in SL, the result of maturity evolution and the increase in strength, especially in boys (Meyers et al., 2017; Moran et al., 2017). This is why the post-PHV period may be a good time to develop SR and CT, since they do not usually occur naturally (Meyers et al., 2017). It must be taken into account that, according to Rumpf et al. (2015), SR does not increase, especially in post-PHV athletes, while CT decreases do appear, mostly due to higher absolute values of stiffness and vertical ground reaction forces (Meyers et al., 2017), which can help maintain MRS values for a longer time (R. Nagahara et al., 2018; Weyand et al., 2000). Colyer et al. (2020) comment that differences appear between boys and girls in the CT, which tends to be higher in girls in the post-PHV stages, mainly due to lower force values than boys. This is why OS training with TS can be a good method to decrease CT, since it is a determining value in improving MRS (Colyer et al., 2020), more than the ability to quickly recover the legs (Weyand et al., 2000). In our results we can see (*Table 4*) how neither SR nor CT vary significantly in the pre-post in the V0 condition, while in the OS1 condition, the closest in % of body weight to the training loads used, significant differences do appear in pre-post in CT (see *Table 4*), which could indicate that it improves with specificity and that, possibly, the

intervention should have been longer and the adjustment of loads was not optimal for all participants.

Another important methodological aspect to take into account is the training load used and the effects it produces on athletes. Normally, the selection of training loads has been made based on the increase produced over the MRS, recommending the use of those that take the athlete to speeds between 3% and 10% higher than the MRS (D. A. Clark et al., 2009; A. Mero & Komi, 1985; Sedláček et al., 2015; Sugiura & Aoki, 2008). In the case of our study, we have worked with average loads of $5.05 \pm 0.53\%$ of body weight, which have produced average speeds of 105.71% of the MRS. For us it is especially relevant to determine these values for further studies and their comparison. In addition, in our study the load was not fixed, but was adjusted inter and intra-session, considering the effect produced, i.e., the objective of 103-105% of the MRS. This aspect is also taken into account in Stoyanov's study (Stoyanov, 2019) with elastic ropes, which sets its objectives in the resulting speed, from 102-103% to 108-110%, depending on the distance and athlete; and in that of Lahti et al. (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020), where the objective is to obtain speeds of 105% MRS, with a weekly adjustment of the loads.

The intervention carried out is based on an ecological approach (Araújo et al., 2006; Torrents, 2005) to the training of athletes (see *Table 1*), including it in their actual preparation for competition. We believe that these types of studies, although they are more difficult to control due to the high number of confounding variables that may appear, provide information with greater external validity than studies carried out in analytical or laboratory situations (Kristensen et al., 2006; Majdell & Alexander, 1991). This same line of ecological approach can be found in Stoyanov (Stoyanov, 2019), with young sprinters, and Lahti et al. (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020) with rugby players. In both studies, they provide us with the data of the intervention and the rest of the training content. Emphasis should also be placed on the need for studies with a control group that perform the same intervention in a more analytical situation, to allow the effectiveness of this type of intervention to be assessed.

A limitation of our study is the size of the final sample, where only 6 participants finished the intervention, out of the 8 who started it. This small sample does not provide enough statistical power to the results obtained, but we believe that is necessary to attend to the individuality of the results (Loturco et al., 2022) and the ES of the treatment, not focusing

only on the statistical significance of the results (Hopkins et al., 2009; Swinton et al., 2022; A. N. Turner et al., 2021b, 2021a). We can see how in the study by Lahti et al. (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020) an ES of 0.47 (-0.38 – 1.32) is obtained with a $p=0.03$ while in ours we obtained a higher ES (0.89 [-10.10 – 1.82]) but a non-significant p , due to the greater width of the confidence interval. If we look at the individual response, Lahti et al., (Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020) report that 5 of the 10 participants do not respond in the expected direction, which they attribute to an inadequate training load, based on their initial strength-velocity profile, while in ours only 2 out of 6 do not improve their MRS after treatment (F1: -0.12%; F4: -0.51%), while the rest of the athletes do improve, some considerably in percentage terms (F2: +5.87%; F3: +7.07%; M1: +1.48%; M2: +2.82%). However, if we take into account the V30m variable, we see that the sample of participants improves ($p=0.018$; $d: 0.48$ 95%CI: 0.08-0.86) its MRS from session 1 to session 10 in a significant way. The inter-session follow-up can provide us with a different vision from the one of the post-test only, since on the day of the test individual casuistry may appear, causing changes in performance (T. N. Mann et al., 2014). Introducing follow-up tests for a few weeks could also provide us with more information about the effects of training (Bissas et al., 2022; Lahti, Jiménez-Reyes, et al., 2020), as well as taking into account the possible error in the measurement procedures, an aspect that is by no means negligible in research, and which can lead to possible false non-response or vice versa (T. N. Mann et al., 2014; Pickering & Kiely, 2019). Pickering & Kiely (Pickering & Kiely, 2019) argue that the most important aspect in training is the individual dosage of the training load and that the lack of response to the process may be due to the fact that it was not adequate to its characteristics. According to these same authors, the terms “Responder” and “Non responder” should stop being used and should be changed to “Did not respond”, thus transferring the reason for the athlete's non-response to treatment. Finally, more studies are needed to be able to determine if there is a specificity of non-response to each type of exercise (T. N. Mann et al., 2014), in this case to OS.

Despite the exposed limitations, we believe that, understanding our study as an intervention proposal, we can provide some practical implications for its applicability in training:

- A period of adaptation or familiarization to the OS conditions generated by the TS is necessary to be able to run at supra maximal speed in a controlled manner. The first repetitions generate insecurity and mistrust in athletes.
- OS training with TS can be a good method to reduce CT values, a determining factor in performance for improving MRS, since OS conditions imply a greater need for vertical ground reaction forces.
- The management and dosage of the loads must be done on an individualized and daily basis, adapting the loads to the proposed objective.
- Intervention periods of around 4-6 weeks may be insufficient; longer periods, between 8 and 12 weeks, would be recommended to be able to assess the results beyond the early phase of training.
- In research, individual health data should be collected, both physiological and psychological or emotional during the tests, in order to determine any possible influence on the results.

FUNDING

This research received no external funding.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

DATA AVAILABILITY

https://figshare.com/articles/journal_contribution/Data_availability_PRE-POST_xlsx/22196905

REFERENCES

1. Schiffer J. Training to overcome the speed plateau. *IAAF New Stud Athl.* 2011;26:7–16.
2. Kristensen GO, van den Tillaar R, Ettema GJC. Velocity specificity in early-phase sprint training. *J Strength Cond Res.* 2006 Nov;20(4):833–7.
3. Stoyanov HT. Effect of assisted training on the special running preparation of junior sprinters for 100 and 200 m. *Human Sport Med.* 2019;19(3):74–9.

4. Clark DA, Sabick MB, Pfeiffer RP, Kuhlman SM, Knigge NA, Shea KG. Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting. *J Strength Cond Res*. 2009 Jul;23(4):1162–8.
5. Mero A, Komi PV. Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *J Appl Biomech*. 1985;1(3):240–52.
6. Sugiura Y, Aoki J. Effects of supramaximal running on stride frequency and stride length in sprinters. *Adv Exerc Sport Physiol [Internet]*. 2008;14(1):9–17. Available from: <https://ci.nii.ac.jp/naid/110006781626/>
7. Van den Tillaar R. Comparison of development of step-kinematics of assisted 60 m sprints with different pulling forces between experienced male and female sprinters. Mirkov D, editor. *PLoS One [Internet]*. 2021 [cited 2021 Jul 28];16(7):e0255302. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0255302>
8. Clark K, Cahill M, Korfist C, Whitacre T. Acute kinematic effects of sprinting with motorized assistance. *J Strength Cond Res*. 2021 Feb;35(7):1856–64.
9. Cecilia-Gallego P, Odriozola A, Beltran-Garrido JV, Alvarez-Herms J. Acute effects of different overspeed loads with motorized towing system in young athletes: a pilot study. *Biology (Basel)*. 2022;11(8):1223.
10. Mero A, Komi P V, Rusko H, Hirvonen J. Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *Int J Sports Med*. 1987 Mar;8 Suppl 1:55–60.
11. Lahti J, Jiménez-Reyes P, Cross MR, Samozino P, Chassaing P, Simond-Cote B, et al. Individual sprint Force-Velocity profile adaptations to in-season assisted and resisted velocity-based training in professional rugby. *Sports*. 2020 May;8(5).
12. Cecilia-Gallego P, Odriozola A, Beltran-Garrido JV, Álvarez-Herms J. Acute effects of overspeed stimuli with towing system on athletic sprint performance: A systematic review with meta-analysis. *J Sports Sci [Internet]*. 2022;40(6):704–16. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2015165>
13. Majdell R, Alexander M. The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J Hum Move Stud*. 1991;21(1):19–39.
14. Mann TN, Lamberts RP, Lambert MI. High responders and low responders: factors associated with individual variation in response to standardized training. *Sports*

- Med. 2014 Aug;44(8):1113–24.
15. Pickering C, Kiely J. Do Non-Responders to Exercise Exist-and If So, What Should We Do About Them? *Sports Med.* 2019 Jan;49(1):1–7.
 16. Pickering, Craig; Kiely J. Understanding personalized training responses: can genetic assessment help? *Open Sports Sci J.* 2017;10(1):191–2013.
 17. Araújo D, Davids K, Hristovski R. The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychol Sport Exerc* [Internet]. 2006;7(6):653–76. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1469029206000665>
 18. Torrents C. La teoría de los sistemas dinámicos y el entrenamiento deportivo [Internet]. University of Barcelona; 2005. Available from: <https://www.tdx.cat/handle/10803/2897?show=full>
 19. Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(4):689–94.
 20. Esparza-Ros, F.; Vaquero-Cristóbal, R.; Marfell-Jones M. Protocolo internacional para la valoración antropométrica. Perfil Completo. In: UCAM, editor. International Society for the Advancement of Kinanthropometry-ISAK. Murcia (Spain); 2019.
 21. Sedláček J, Krska P, Kostial J. Use of supramaximal speed mean in maximal running speed depment. *Gymn Sci J Educ Sport Heal* [Internet]. 2015;16:39–50. Available from: <https://gymnasium.ub.ro/index.php/journal/article/view/85>
 22. Vicens-Bordas J, Esteve E, Fort-Vanmeerhaeghe A, Casals M, Bandholm T, Ishøi L, et al. Performance changes during the off-season period in football players – Effects of age and previous hamstring injury. *J Sports Sci* [Internet]. 2020 Nov 1;38(21):2489–99. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1792160>
 23. Padullés-Riu JM. Valoración de los parámetros mecánicos de carrera. Desarrollo de un nuevo instrumento de medición. University of Barcelona (UB); 2011.
 24. Buscà, B.; Quintana, M.; Padullés-Riu JM. High-speed cameras in sport and exercise: Practical applications in sports training and performance analysis. *Aloma Rev Psicol ciències l'educació i l'esport Blanquerna* [Internet]. 2016;34(2):11–24. Available from: <https://raco.cat/index.php/Aloma/article/view/315257>

25. Puig-Diví, A.; Padullés-Riu, J.M.; Busquets-Faciabén, A.; Padullés-Chando, X.; Escalona-Marfil, C.; Marcos-Ruiz D. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angular and distance dimensions. *PrePrints*. 2017;2017100042.
26. Reinking MF, Dugan L, Ripple N, Schleper K, Scholz H, Spadino J, et al. Reliability of two-dimensional video-based running gait analysis. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2018 Jun;13(3):453–61. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30038831>
27. Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P, Castaño-Zambudio A, Capelo-Ramírez F, Rodríguez-Juan JJ, González-Hernández J, et al. Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *Eur J Sport Sci*. 2017 May;17(4):386–92.
28. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front Psychol*. 2013 Nov;4(NOV):863.
29. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(1):3–12.
30. Swinton PA, Burgess K, Hall A, Greig L, Psyllas J, Aspe R, et al. Interpreting magnitude of change in strength and conditioning: Effect size selection, threshold values and Bayesian updating. *J Sports Sci*. 2022 Oct;1–8.
31. Salo AIT, Bezodis IN, Batterham AM, Kerwin DG. Elite sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Jun;43(6):1055–62.
32. Loturco I, Fernandes V, Bishop C, Mercer VP, Siqueira F, Nakaya K, et al. Variations in physical and competitive performance of highly trained sprinters across an annual training season. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2022; Available from: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/9900/Variations_in_Physical_and_Competitive_Performance.143.aspx
33. Meyers RW, Oliver JL, Hughes MG, Lloyd RS, Cronin JB. New insights into the development of maximal sprint speed in male youth. *Strength Cond J*.

- 2017;39(2):2–10.
34. Moran J, Sandercock G, Rumpf MC, Parry DA. Variation in responses to sprint training in male youth athletes: A meta-analysis. *Int J Sports Med.* 2017;38(1):1–11.
 35. Rumpf MC, Cronin JB, Oliver J, Hughes M. Kinematics and Kinetics of Maximum Running Speed in Youth Across Maturity. *Pediatr Exerc Sci.* 2015 May;27(2):277–84.
 36. 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.* 2018 Apr;34(2):104–10.
 37. 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 Nov;89(5):1991–9.
 38. Colyer SL, Nagahara R, Takai Y, Salo AIT. The effect of biological maturity status on ground reaction force production during sprinting. *Scand J Med Sci Sport.* 2020;30(8):1387–97.
 39. Turner AN, Parmar N, Jovanovski A, Hearne G. Assessing group-based changes in high-performance sport. Part 2: Effect sizes and embracing uncertainty through confidence intervals. *Strength Cond J.* 2021;43(4):68–77.
 40. Turner AN, Parmar N, Jovanovski A, Hearne G. Assessing group-based changes in high-performance sport. Part 1: null hypothesis significance testing and the utility of p values. *Strength Cond J.* 2021;43(3):112–6.
 41. Bissas A, Paradisis GP, Nicholson G, Walker J, Hanley B, Havenetidis K, et al. Development and maintenance of sprint training adaptations: an uphill-downhill study. *J strength Cond Res.* 2022 Jan;36(1):90–8.

9.4. Anexo 4: Modelo general de hoja de consentimiento informado del Proyecto

I+D Bizialai

El estudio fue llevado a cabo siguiendo los protocolos de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad del País Vasco, con el código M10_2021_191.



Investigador responsable: Adrián Odriozola Martínez

Departamento de Genética, Antropología Física y Fisiología Animal. Facultad de Ciencia y Tecnología Teléfono: 946012698

Correo electrónico: adrian.odriozola@ehu.eus

CONSENTIMIENTO INFORMADO PROYECTO I+D BIZIALAI

El proyecto para el que solicito tu colaboración se titula “BIZIALAI” proyecto de I+D dirigido a la asociación entre Genética, Microbiota y Hábitos alimentarios, de Actividad Física y Descanso Saludables.

La composición genética y microbiana del individuo influye en procesos fisiológicos esenciales tales como la regulación de la inflamación intestinal y sistémica, del sistema inmune, de metabolitos esenciales, y de la digestión y absorción de fibra dietética.

En este sentido, se ha descrito un número creciente de asociaciones entre variables genómicas y de disbiosis específicas de la microbiota intestinal, con fenotipos tales como obesidad, diabetes mellitus o hígado graso no alcohólico.

Entre los principales factores moduladores del microbioma intestinal, destacan la nutrición, la actividad física y los ritmos circadianos. Por este motivo, y partiendo de que la hipótesis del proyecto es que la descripción del componente genético, de microbiota y los hábitos alimentarios, de actividad física y de descanso, pueden constituir una fuente de conocimiento prometedora para el futuro desarrollo de estrategias individualizadas dirigidas a la mejora de la salud y calidad de vida, le invito a participar en el mismo.

El objetivo es el análisis bioinformático para la búsqueda de posibles asociaciones entre variables genéticas (*raw data de Human global Scanning array y/o Infinium MethylationEPIC v2.0*), microbianas (secuencia parcial y/o completa del gen rRNA 16S) y de hábitos de vida (alimentarios, de actividad física y descanso), procedentes de los datos proporcionados por los usuarios de análisis genéticos y análisis de microbiota.

Tu participación consiste en solicitar al servicio que hayas utilizado para realizarte el análisis genético, los datos brutos correspondientes a tu análisis (*raw data*), así como responder a un cuestionario de 150 ítems sobre hábitos de vida. Una vez que dispongas de los datos que te proporcionará el servicio que utilizaste, y hayas rellenado el cuestionario, los enviarás junto con este consentimiento firmado a adrian.odrizola@ehu.eus.

Los datos serán utilizados exclusivamente para los fines previstos en el presente documento.

Tanto el documento de consentimiento informado firmado, como los datos brutos y las respuestas al cuestionario deberán ser enviados al investigador responsable por correo electrónico: adrian.odrizola@ehu.eus.

La participación en el presente proyecto es voluntaria y no habrá ningún tipo de perjuicio si no deseas participar, no supondrá ningún beneficio directo para ti, y el único riesgo será el tiempo que dediques al proceso de realización del cuestionario y envío de toda la documentación al investigador responsable, que se estima será de 15 minutos. Además, puedes retirarte de la investigación en el momento que decidas sin dar ningún tipo de explicación, poniéndote en contacto con el investigador responsable (adrian.odrizola@ehu.eus).

A la conclusión del estudio se hará una publicación informativa global de los resultados finales obtenidos y se te enviará al correo electrónico proporcionado.

Se le informa de que de conformidad al Reglamento Europeo de Protección de Datos (UE2016/679): - El código del tratamiento de datos es: TI0343. El nombre del tratamiento de datos es: "BIZIALAI". - La finalidad de este tratamiento es realizar la valoración clínica y funcional de genética y microbiota en relación a hábitos de vida saludables. El responsable del tratamiento de datos es la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. CIF: Q4818001B. Dirección postal: Barrio

Sarriena s/n, 48940-Leioa (Bizkaia). Página web: www.ehu.eus. Datos de contacto del Delegado de Protección de Datos: dpd@ehu.eus. Los datos personales que se le solicitan son: nombre, apellidos, dirección y forma de contacto, datos clínicos y funcionales relativos a las pruebas detalladas en “información de las pruebas a realizar”. El periodo de conservación de sus datos será: Los datos se conservarán mientras no se solicite su supresión por la persona interesada y, en cualquier caso, siempre que estén abiertos los plazos de recurso y/o reclamación procedente o mientras sigan respondiendo a la finalidad para la que fueron obtenidos. La legitimación del tratamiento es: su consentimiento informado. No habrá cesión de datos a terceros. No se efectuarán transferencias internacionales. Los derechos sobre sus datos son los de acceso, supresión, rectificación, oposición, limitación del tratamiento, portabilidad y olvido. Puede ejercerlos enviando su petición a dpd@ehu.eus. Tiene a su disposición información adicional en <http://www.ehu.eus/babestu>. La información completa sobre este tratamiento está en: <https://www.ehu.eus/es/web/idazkaritza-nagusia/ikerketa-datu-pertsonalen-tratamenduak>.

Tras la información recibida verbalmente y por escrito y después de haber podido realizar las preguntas que ha estimado convenientes, **CONSIENTO** de manera libre y voluntaria al Grupo de Investigación de la UPV/EHU Sport Genomics, a **la utilización de mis datos** brutos (*raw data*) correspondientes a los estudios de análisis genético y /o d emicrobioma, así como las respuestas al cuestionario de hábitos saludables para elaborar un estudio de asociación que sirva como fuente de conocimiento para el futuro desarrollo de estrategias individualizadas de hábitos saludables.

Y a la inclusión de sus análisis en los resultados grupales que formen parte de trabajos científicos, memorias, estadísticas, o cualquier tipo de **obras que carácter científico**.

Los datos obtenidos en este proyecto serán almacenados en las instalaciones del Departamento de Genética, Antropología Física y Fisiología Animal de la UPV/EHU, bajo la responsabilidad de Adrián Odriozola Martínez, y con su consentimiento podrán ser utilizadas en estudios de la presente línea de investigación y siempre preservando el anonimato del donante:

Autorizo

No autorizo

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

Identificación y firma del investigador responsable

Identificación y firma de
la persona que consiente

9.5. Anexo 5: Modelo específico de hoja de consentimiento informado de la intervención de súper velocidad

La intervención está integrada en el Proyecto I+D Bizialai.

Consentimiento informado para la participación en el proyecto de investigación:

Análisis de los efectos de una intervención de entrenamiento de súper velocidad con sistema motorizado de arrastre.

Los abajo firmantes, _____, con DNI núm. _____, con fecha de nacimiento _____.

Y, _____, con DNI núm. _____, como representante legal en caso de ser menor de edad.

Manifiestan haber recibido la información que a continuación se detalla.

El estudio:

Tiene como objetivos:

Analizar los efectos de una intervención de seis semanas de entrenamiento de súper velocidad con sistema motorizado de arrastre.

Mejorar los parámetros de velocidad máxima de desplazamiento de los deportistas después de la intervención.

Se llevarán a cabo las siguientes actividades:

Recogida de datos personales y antropométricos pre-intervención a los deportistas participantes.

Intervención de seis semanas de intervención de súper velocidad mediante sistema motorizado de arrastre. Durante la primera semana se realizarán sesiones de familiarización con el dispositivo y recogida de datos pre-intervención. En la última semana se realizará la recogida de datos post-intervención.

La intervención tendrá lugar en la pista de atletismo del Centro de Tecnificación Deportiva Terres de l'Ebre, en Amposta.

Y declaran que han sido informados de los objetivos de la investigación y de los procedimientos de recogida, análisis, almacenamiento y tratamiento de los datos. Por otra parte, también se nos ha informado del derecho de poder renunciar en cualquier momento a seguir participando en el estudio.

También, y en el marco del proyecto de investigación:

AUTORIZAN a la difusión de la información que se derive de esta investigación, siempre con voluntad e interés docente y científico y, EXIGEN que se salvaguarde la identidad e intimidad del participante en todo momento.

Amposta, ____ de _____ de _____

Firma del participante:

Firma del representante legal:

Nombre del informante: Pau Cecília Gallego (pau.cecilia@euseste.es)

Investigador principal: Adrián Odriozola Martínez (adrian.odriozola@ehu.eus)

La presente investigación está incluida en el Proyecto I+D Bizialai, realizado siguiendo los protocolos de la Declaración de Helsinki y con el consentimiento del Comité de ética de la Universidad del País Vasco, con el código M10_2021_191.