

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Educación

Universidad de Sevilla



**VALORACIÓN DE LAS RESPUESTAS CINEMÁTICAS A
TRAVÉS DE LA FATIGA MUSCULAR Y DE LAS
CONCENTRACIONES DE LACTATO SANGUÍNEO DE DOS
PROTOCOLOS DE ENTRENAMIENTO:
TRADICIONAL VS. RESTRICCIÓN DEL FLUJO
SANGUÍNEO.**

Autora: Inmaculada Villarán López

Tutor: Raúl Domínguez Herrera

Investigación en el ámbito de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

AGRADECIMIENTOS

Siento que es necesario agradecer a todas las personas que tanto me han ayudado, apoyado, motivado y guiado a hacer este trabajo, y que debe quedarse recogido aquí.

En primer lugar, gracias a Pedro Jesús por haberme ofrecido esta oportunidad de participar en una investigación y aprender, nunca hubiera pensado que esto podría llegar a gustarme tanto. Gracias a Clara, Juan y Luis por hacérmelo tan fácil y disfrutar de las horas de mediciones.

Por otra parte, muchísimas gracias a mi tutor Raúl por haberme guiado y marcado las directrices de cómo hacer este trabajo, y por la motivación constante que me empujaba a ello, así como por su disponibilidad para resolverme las dudas.

Gracias también a mi familia por haber soportado mis cambios de humor, mis horas frente al ordenador, por entender la situación y por apoyarme hasta el fin.

Gracias a todos esos profesores que imparten sus asignaturas demostrando que les gusta lo que hacen, pues es donde más he aprendido.

Gracias de corazón a mis compañeros de carrera, en especial a Manuel, por su gran ayuda durante estos años; a Andrea y Anaisa, por alegrarme el día cuando las veía; a Ana y María, por convertirse en personas tan especiales en solo unos meses; y a Carlos, por hacer que fuera con ganas a clase para reírme.

Pero, sobre todo, gracias a mí, por haber cumplido con mis expectativas y haberme demostrado que soy capaz de hacer lo que me proponga.

RESUMEN

Antecedentes: La fuerza se considera una de las capacidades físicas más importantes. Su entrenamiento conlleva a la adquisición de diferentes beneficios y adaptaciones a distintos tipos de poblaciones. Dentro del entrenamiento de fuerza encontramos diferentes métodos, entre los que se encuentran el tradicional y con restricción del flujo sanguíneo (RFS), si bien no se han estudiado las diferencias en las respuestas cinemáticas y fatiga al usar ambos métodos de entrenamiento. **Objetivos:** Los objetivos del presente estudio son conocer las respuestas cinemáticas y la fatiga muscular a corto plazo tras la realización de un entrenamiento de fuerza tradicional y otro con RFS. **Metodología:** 20 sujetos varones con experiencia en el entrenamiento de fuerza realizaron un test de determinación de una repetición máxima (1RM) en sentadilla completa en multipower. Posteriormente, realizaron dos sesiones experimentales sin (método tradicional) y con RFS, consistentes en 3x8x60% de la 1RM, valorando la velocidad y la potencia media. Además, se valoró la altura de vuelo en un salto con contramovimiento (CMJ), la velocidad y potencia media en un test de sentadilla y las concentraciones de lactato antes (PRE) y al finalizar (POST) el protocolo de entrenamiento. **Resultados:** En el protocolo de entrenamiento se observó una mayor velocidad ($p=0,003$) y potencia media ($p<0,001$) en el método tradicional. Además, se observó una disminución del CMJ_{post} ($p<0,001$), de la velocidad media en $TestSentadilla_{post}$ ($p<0,001$) y un aumento del $Lactato_{post}$ ($p<0,001$). En cuanto a los protocolos, se observó una mayor altura de vuelo en CMJ_{post} ($p<0,001$) y potencia media en $TestSentadilla_{post}$ ($p=0,034$) en el método tradicional. **Conclusiones:** El protocolo de entrenamiento tradicional podría originar superiores adaptaciones neuromusculares del entrenamiento, necesario para aumentar el rendimiento. No obstante, debemos tener en cuenta el entrenamiento con RFS para otros objetivos, como pueden ser la readaptación de lesiones o para personas con patologías.

Palabras claves: adaptaciones neuromusculares; biomecánica; fuerza; potencia; rendimiento; RFS; salto; velocidad.

ABSTRACT

Background: Strength is considered one of the most important physical abilities. Its training leads to the obtaining of different benefits and adaptations to different types of populations. Within resistance training we find different methods, among which are the traditional and with Blood Flow Restriction (BFR), although the differences in kinematic responses and fatigue when using both training methods have not been studied. **Objectives:** The objectives of this study are to know the kinematic responses and short-term muscle fatigue after doing traditional resistance training and another with BFR. **Methodology:** 20 male subjects with experience in resistance training made a test to determine one repetition maximum (1RM) in the full squat in multipower. Subsequently, they carried out two experimental sessions without (traditional method) and with BFR, consisting of 3x8x60% of the 1RM, assessing average speed and power. In addition, flight height in a countermovement jump (CMJ), mean speed and power in a squat test, and lactate concentrations before (PRE) and at the end (POST) of the training protocol were assessed. **Results:** In the training protocol, a higher average speed ($p = 0.003$) and power ($p < 0.001$) are executed in the traditional method. In addition, there was a decrease in CMJ_{post} ($p < 0.001$), in the mean speed in $SquatTest_{post}$ ($p < 0.001$) and an increase in $Lactate_{post}$ ($p < 0.001$). Regarding the protocols, a higher flight height is executed in CMJ_{post} ($p < 0.001$) and average power in $SquatTest_{post}$ ($p = 0.034$) in the traditional method. **Conclusions:** The traditional training protocol could originate superior neuromuscular training adaptations, necessary to increase performance. However, we must consider BFR training for other objectives, such as the rehabilitation of injuries or for people with pathologies.

Key words: BFR; biomechanics; jump; neuromuscular adaptations; performance; power; speed; strength.

ABREVIATURAS

- BFR: Blood Flow Restriction.
- CMJ: CounterMovement Jump (salto con contramovimiento).
- IMC: Índice de Masa Corporal.
- POA: Presión Oclusiva Arterial.
- RFS: Restricción del Flujo Sanguíneo.
- RM: Repetición Máxima.
- SD: Standard Deviation (desviación típica o estándar).

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
3. OBJETIVOS	19
4. METODOLOGÍA	20
4.1. Participantes.....	20
4.2. Diseño experimental	21
4.3. Evaluaciones iniciales.....	22
4.4. Valoración del lactato en sangre.....	25
4.5. Activación general	27
4.6. Valoración del CMJ.....	27
4.7. Activación específica.....	28
4.8. Test de sentadilla	28
4.9. Protocolos de entrenamiento	29
4.10. Análisis estadístico.....	30
5. RESULTADOS.....	31
5.1. Protocolos de entrenamiento: tradicional vs. RFS.....	31
5.2. Test de Sentadilla.....	33
5.3. Lactato	33
5.4. CMJ	34
6. DISCUSIÓN	36
7. CONCLUSIONES	40
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
9. ANEXO 1.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Resumen de volumen – intensidad – periodo de descanso según los objetivos de entrenamiento</i>	14
Tabla 2. <i>Datos descriptivos de los participantes</i>	20
Tabla 3. <i>Media y SD de Velocidad y Potencia Media en las 3 series de los 2 protocolos.</i>	32
Tabla 4. <i>Media y SD de Velocidad y Potencia Media del Test de Sentadilla en el pre y post de los 2 protocolos</i>	35
Tabla 5. <i>Media y SD de Lactato y CMJ en el pre y post de los 2 protocolos</i>	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Diseño experimental</i>	22
Figura 2. <i>Doppler y sonda</i>	23
Figura 3. <i>Manguitos</i>	23
Figura 4. <i>Infladores de mano</i>	23
Figura 5. <i>Ejecución técnica de sentadilla completa</i>	24
Figura 6. <i>Máquina tipo Smith</i>	25
Figura 7. <i>Medidor de lactato</i>	26
Figura 8. <i>Lanceta</i>	26
Figura 9. <i>Cronómetro</i>	26
Figura 10. <i>Plataforma de salto</i>	27
Figura 11. <i>Ejecución técnica del CMJ</i>	28
Figura 12. <i>Medidor lineal de velocidad</i>	29

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.

Una de las capacidades más importantes para el ser humano es la de generar fuerza. Podemos necesitarla para cualquier ámbito, desde la vida diaria hasta el máximo rendimiento deportivo. El principal objetivo de su entrenamiento es el de mejorar tanto la fuerza muscular como la resistencia y la potencia muscular, o una combinación de todas las anteriores. No obstante, esto dependerá de las características individuales de la persona que vaya a entrenar su fuerza.

Numerosos estudios respaldan la importancia que tiene entrenar esta capacidad de forma asidua, pues como comentamos anteriormente, se aplica a numerosas situaciones, tales como puede ser el rendimiento deportivo y la readaptación de lesiones, para mejorar la calidad de vida a cualquier edad y para diversas enfermedades (que afecten tanto al componente físico como al psicológico).

Es aquí donde encontramos diversas metodologías del entrenamiento de fuerza, pues cada una irá dirigida a conseguir los objetivos concretos de las situaciones anteriores. En este estudio en especial hacemos mención de dos metodologías, una que lleva más tiempo practicándose y otra que se considera relativamente ‘actual’. Hablamos de la metodología tradicional y del entrenamiento con RFS. El entrenamiento de fuerza tradicional se caracteriza por la realización de ejercicios contra una resistencia progresiva (Busch et al., 2013), y el entrenamiento con RFS se realiza de la misma forma, pero obstruyendo parcialmente el flujo sanguíneo de los músculos que se vayan a trabajar (Patterson et al., 2019). En cuanto a los programas de entrenamiento, ambos deben tener en cuenta diversos factores, como es el volumen, la intensidad de la carga, los tiempos de descanso, la frecuencia del entrenamiento, los tipos de ejercicios y su orden en la sesión.

De esta forma, nace la necesidad de comparar algunos factores, como son las respuestas cinemáticas a la fatiga muscular y a la metabólica, entre el método de entrenamiento de fuerza tradicional y con RFS en el ejercicio de sentadilla profunda. Comprobar cómo los niveles de lactato pueden aumentar más, o cómo la pérdida de altura de vuelo en el CMJ y la pérdida de velocidad y potencia en un test de sentadilla son mayores tras un tipo de entrenamiento u otro, nos puede orientar sobre las características de estos tipos de entrenamiento y cómo y a quién podemos aplicarlo.

2. MARCO TEÓRICO.

El entrenamiento de fuerza se puede entender como un método en el que se realizan ejercicios contra una resistencia progresiva, con la intención de mejorar la fuerza muscular, la resistencia muscular, la potencia o una combinación de todas ellas (Busch et al., 2013). La habilidad de generar fuerza es necesaria para todo tipo de movimientos, tanto aquellos que se utilizan en las distintas modalidades deportivas como los que se realizan en la vida diaria. Las adaptaciones al entrenamiento de fuerza permiten una mayor producción de fuerza a través de numerosos mecanismos neuromusculares. Esto se verá reflejado a través de una mejora en las funciones neurales (como por ejemplo mayor reclutamiento motor, mayor actividad electromiográfica, etc.), mayor área transversal muscular, cambios en la arquitectura muscular, y posibles adaptaciones al aumento de metabolitos (ACSM, 2009). Es importante conocer las aplicaciones de este tipo de entrenamiento, siendo recomendado para situaciones muy variadas, como para mejorar el rendimiento deportivo y prevenir lesiones, en la readaptación de lesiones, mejorar la calidad de vida, como tratamiento para enfermedades y para las etapas etarias.

En cuanto al rendimiento deportivo y la prevención de lesiones, la realización regular de un programa de entrenamiento de fuerza que tenga lugar durante la pretemporada y que incluya instrucciones sobre la biomecánica de los movimientos puede reducir el riesgo de lesiones relacionados con los deportes en atletas (Faigenbaum y Myer, 2009). También se utiliza en deportes concretos, como para natación, siendo necesario un programa de ejercicios con un volumen bajo y a alta intensidad para lograr una transferencia directa en movimientos técnicos como, por ejemplo, la brazada (Crowley et al., 2017).

Para la readaptación de lesiones, el entrenamiento de fuerza es una herramienta terapéutica para el tratamiento de las lesiones musculoesqueléticas más comunes, especialmente en aquellas crónicas. Además, es efectivo en cualquier género y edad. Una intensidad de entrenamiento alta (>70% de la 1RM) es más efectiva que una baja. Esto no aumenta la probabilidad de lesión, siempre y cuando se introduzca al paciente gradualmente mayores cargas en un entrenamiento de fuerza planificado (Kristensen y Franklyn-Miller, 2014).

Por otra parte, atendiendo a la calidad de vida, el entrenamiento de fuerza es efectivo para mejorar aspectos importantes de la salud física y mental. En las actividades donde hace falta el trabajo físico, el entrenamiento de fuerza está asociado con la reducción del dolor en la espalda baja, reducción de problemas de artritis, incremento de la independencia, mejora en el control del movimiento e incremento en la velocidad para andar (Westcott, 2012). También se

recomienda para combatir a la diabetes tipo 2, aumentando la densidad de transporte de la glucosa y mejorando la sensibilidad a la insulina, así como para mejorar la salud cardiovascular, mejorando los perfiles lipídicos en sangre (Codella et al., 2018). También tiene un gran impacto en la densidad ósea. Por otra parte, provoca beneficios en la salud mental, reduciendo síntomas de depresión y ansiedad (LeBouthillier y Asmundson, 2017), aumentando la autoestima y la autoaceptación física, así como mejorando la habilidad cognitiva.

Centrándonos en el tratamiento de enfermedades, este tipo de entrenamiento se usa para mejorar la calidad de vida de los pacientes, usándolo para sobrellevar los síntomas de distintas enfermedades, como pueden ser la esclerosis múltiple, la fibromialgia o enfermedades cardiovasculares. La fibromialgia se caracteriza por un dolor crónico generalizado que provoca la reducción de la función física. Normalmente se recomienda realizar ejercicio como tratamiento para sobrellevar los síntomas. Se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza moderado-intenso mejora funciones multidimensionales, el dolor, la sensibilidad y la fuerza muscular en mujeres con fibromialgia (Busch et al., 2013). Por otra parte, el entrenamiento de fuerza puede ayudar a mejorar factores de riesgo cardiovasculares, siendo la mejor fórmula combinarlo con ejercicios de resistencia cardiorrespiratoria (Khadanga et al., 2019).

El entrenamiento de fuerza también está recomendado en distintas etapas de la vida, y encontramos a un público que necesita unas pautas de entrenamiento ligeramente diferente a la de la población sana, como pueden ser niños/adolescentes, mujeres embarazadas o personas mayores. En niños y adolescentes se recomienda el entrenamiento de fuerza con cargas, pero no debemos olvidarnos de los ejercicios realizados con el propio peso corporal para mejorar la condición física entre niños y adolescentes. Pueden ganar fuerza a través de un entrenamiento con bajo riesgo de lesión si las actividades son realizadas poniendo énfasis en realizar una técnica apropiada y si están bien supervisadas (Stricker et al., 2020). Estas ganancias de fuerza atribuyen principalmente al mecanismo neurológico del incremento del reclutamiento de neuronas motoras, seguido por el incremento en la fuerza con resultado en la hipertrofia de los músculos. Además, el ejercicio físico en esta edad es un buen aliado para mejorar las funciones cognitivas y obtener mayores logros académicos (Biddle y Asare, 2011). Para las mujeres embarazadas, el entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios cardiovasculares provoca el mantenimiento y/o la mejora de la calidad de vida sin crear riesgos de salud para los bebés (Barakat y Perales, 2016). Y para las personas mayores, el entrenamiento de fuerza es una poderosa herramienta para combatir la pérdida de la fuerza y masa muscular (sarcopenia), la vulnerabilidad fisiológica (flaqueza), y sus consecuencias debilitadoras. Un adecuado programa

de entrenamiento de fuerza puede contrarrestar los cambios relacionados con la edad en la función contráctil, en la atrofia y en la morfología del músculo esquelético envejecido. Además, mejora la fuerza muscular, la potencia y la función neuromuscular en personas mayores. Las adaptaciones al entrenamiento de fuerza en este colectivo se realizan a través de adaptaciones neuromusculares, neuroendocrinas y hormonales al entrenamiento (Fragala et al., 2019).

Para conseguir estos efectos deseados y conseguir la mayor mejora muscular, será necesario determinar el tipo de programa de entrenamiento de fuerza a usar y la prescripción detallada del mismo. Los factores que han de tenerse en cuenta para ello se denominan variables del entrenamiento, y deben ser individualizadas para cada persona, así como supervisarlas en el tiempo para hacer los cambios oportunos y progresar de forma adecuada. Entre estas variables encontramos el volumen, la intensidad, los periodos de descanso, la velocidad de ejecución, la frecuencia y la selección de los ejercicios.

El volumen es la suma del número total de repeticiones realizadas durante una sesión de entrenamiento multiplicado por la carga utilizada, y se refleja en la duración en la que los músculos están bajo tensión. Afecta a respuestas neurales, metabólicas y hormonales, y a la hipertrofia, como adaptación al entrenamiento de fuerza. Alterar el volumen de entrenamiento se puede realizar cambiando el número de ejercicios por sesión, el número de repeticiones por serie, o el número de series por ejercicio. Programas de entrenamiento con volúmenes bajos, como por ejemplo, carga alta, pocas repeticiones y número medio-alto de series son característicos del entrenamiento de fuerza (ACSM, 2009).

En cuanto a la intensidad (carga), alterar la carga de entrenamiento tiene un efecto agudo en las respuestas metabólicas, hormonales, neurales y cardiovasculares en el entrenamiento de fuerza. La intensidad del ejercicio se conoce como el estímulo más importante relacionado con los cambios en niveles de fuerza, y se identifica con la carga relativa, dada en %1RM (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). Antes, debemos decir que la 1RM es aquella carga máxima con la que solamente podamos realizar una repetición, y para que sea fiable, debería considerarse válida la que se realice a una velocidad de no más de 0,20 m/s (González-Badillo et al., 2011). Aun así, la evaluación directa de esta 1RM tiene desventajas, pues puede derivar en lesiones cuando la técnica es incorrecta y conlleva una pérdida de tiempo, además de que puede variar a las pocas sesiones de entrenamiento, y el valor obtenido no es el verdadero valor máximo (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). Otro método alternativo es determinar el máximo número de repeticiones que se puede realizar con una carga submáxima,

dado en XRM, pero llegar al fallo muscular puede ser contraproducente, produciendo excesiva fatiga mecánica y metabólica. Izquierdo et al. (2006) hace una pequeña relación entre el % 1RM y XRM, de forma que el 70% de la 1RM correspondería con 12RM, el 80% con 8RM, y el 90% con el 4RM. Por otra parte, González-Badillo y Sánchez-Medina (2010) también establecen una relación entre el % 1RM y el máximo número de repeticiones posibles, de forma que el 100% sería la 1RM, el 85% sería el 4RM, y el 60% sería el 12RM.

No obstante, una de las mejores formas para medir la intensidad es a través de la velocidad. De esta forma, se puede prescribir el entrenamiento de fuerza centrándonos en dos variables (González-Badillo et al., 2011): en la velocidad media de la primera repetición, relacionada con la carga relativa, y en el porcentaje de pérdida de velocidad que se da en cada serie. Cabe decir que, para entrenar a través de la velocidad, hace falta materiales que no siempre son asequibles para todos, por lo que será más fácil usar las otras opciones. Dependiendo de la experiencia individual en entrenamiento y el nivel de condición física, se utilizará una carga u otra. Entrenamientos con cargas correspondientes al 1-6 RM son las más favorables para aumentar la fuerza dinámica máxima. Aun así, importantes incrementos de fuerza se han estudiado utilizando cargas correspondientes a 8-12 RM. Una intensidad del 60% de la 1RM produce mayores incrementos de fuerza en sujetos novatos, mientras que el 80% de la 1RM lo hace en individuos entrenados, y el 85% de la 1RM es más efectivo en atletas. Se recomienda progresar con cargas correspondientes al 60-70% de la 1RM para 8-12 repeticiones (ACSM, 2009). Por otra parte, debemos conocer los objetivos, pues dependiendo de si se quiere dirigir el entrenamiento hacia la fuerza o la hipertrofia, la intensidad será diferente. Las ganancias de fuerza muscular se consiguen con cargas del 1-5RM, y las mejoras en hipertrofia se consiguen con cargas del 6-12 RM. Estas recomendaciones se afirman sobre el pensamiento de que es necesario levantar cargas altas para reclutar el umbral de unidades motoras responsables para fomentar las máximas adaptaciones musculares (Schoenfeld et al., 2017).

Los periodos de descanso entre series y ejercicios tiene respuestas agudas en efectos metabólicos, hormonales y cardiovasculares durante el entrenamiento de fuerza (ACSM, 2009). Hay un claro beneficio en periodos de descanso largos (3 minutos) que cortos (1 minuto). Periodos largos de descanso permiten realizar un mayor número de repeticiones, y mantener la alta intensidad y el volumen del entrenamiento, y eso permitirá una mayor activación del músculo por serie (Schoenfeld et al., 2016). Un tiempo mínimo de descanso de alrededor 2 minutos se recomienda para maximizar las ganancias en el tamaño muscular.

Tabla 1.

Resumen de volumen – intensidad – periodo de descanso según los objetivos de entrenamiento.

Objetivos	Volumen	Intensidad	Periodo de descanso
Fuerza	Volumen bajo: 1 – 5 repeticiones 2 – 3 series	1 – 5 RM 80 – 100% 1RM	3 – 5 minutos
Hipertrofia	Volumen alto: 6 – 12 repeticiones 3 – 4 series	6 – 12 RM 60 – 80% 1RM	2 – 3 minutos

Atendiendo a la velocidad de ejecución (de forma que el primer término hace alusión a la fase concéntrica y el segundo a la excéntrica), para principiantes se recomienda realizar los ejercicios con velocidad lenta o moderada (2:4 – 1:2), para los intermedios se recomienda con velocidad moderada (1:2), y para los más avanzados, se recomienda realizarlo a alta velocidad (1:1) o a la máxima velocidad posible a la que puedan mover la carga para incrementar la ganancia de fuerza (ACSM, 2009).

La frecuencia se puede contemplar como el número de sesiones de entrenamiento realizadas en un determinado periodo de tiempo, así como la cantidad de tiempo que un grupo muscular específico ha trabajado durante un determinado periodo de tiempo. Los grupos musculares más grandes deberían ser entrenados al menos dos veces a la semana para maximizar las ganancias de fuerza (Schoenfeld et al., 2016). La frecuencia óptima dependerá de diversos factores como volumen, intensidad, selección de ejercicios, nivel de acondicionamiento, habilidad de recuperación y número de grupos musculares trabajados por sesión. Para principiantes, se recomienda realizar 2-3 sesiones por semana, 3-4 para los intermedios, y para los avanzados 4-5 sesiones (ACSM, 2009).

Para la selección de ejercicios, tanto ejercicios simples como multiarticulares son efectivos para incrementar la fuerza muscular usando diferentes modalidades de entrenamiento, como con cargas libres, con máquinas, etc. Los ejercicios multiarticulares o complejos, como el press de banca o la sentadilla, requieren respuestas neurales complejas y generalmente producen un mayor incremento en la fuerza muscular general, sobre todo porque con ellos se puede levantar una carga mayor. Por otra parte, los ejercicios simples, como extensión de rodillas, se usan para trabajar grupos musculares específicos. Cualquier alteración en la posición corporal, en el agarre o en la posición de los pies cambian la activación muscular y alteran el ejercicio. Como

variantes de los ejercicios también tenemos los bilaterales y los unilaterales, los cuales pueden servir para mejorar grupos musculares descompensados en algunas disciplinas deportivas. Hay multitud de ejercicios que se pueden realizar en muchas condiciones, dejando una gran cantidad de opciones para variar el entrenamiento de fuerza (ACSM, 2009).

Por último, se recomienda seguir un orden de entrenamiento en el que se realicen ejercicios que trabajen grupos musculares grandes antes que los pequeños, multiarticulares antes que simples, de mayor intensidad antes que los de baja intensidad; o rotar entre ejercicios para miembros superiores e inferiores o entre músculos agonistas y antagonistas, es decir, realizar un ejercicio para un grupo muscular seguido de un ejercicio que trabaje el grupo muscular contrario (ACSM, 2009). La explicación de esto puede estar relacionado con la intensidad, pues los que se realizan primero que trabajan grupos musculares más grandes necesitan de más energía que los grupos musculares más pequeños, provocando un mayor estímulo de entrenamiento (Bird et al., 2005).

Todos estos factores se deben tener en cuenta para conseguir una serie de objetivos, pudiéndose llevar a cabo a través de diferentes métodos. El más conocido y usual es el que se realiza con medios isoinerciales, donde la carga es constante. También existen medios isométricos, rotacionales de resistencia variable (mayor carácter excéntrico), de resistencia neumática (la resistencia es constante independientemente de la velocidad de contracción), etc. (Arrayas, 2019). Dentro de los medios isoinerciales, hay diferentes métodos de entrenamiento, pudiendo realizar los ejercicios con el propio peso corporal, con cargas externas con material como barras, discos, mancuernas, con TRX (la carga varía según el nivel de inclinación), etc. No obstante, en estos últimos años ha tenido un gran reconocimiento el entrenamiento con el método *cluster* y con RFS.

A grandes rasgos, el método *cluster* consiste en introducir periodos cortos de descanso entre series para mantener tanto la velocidad como la potencia durante el ejercicio (Suchomel et al., 2018). Esto podría aumentar la calidad y el potencial del entrenamiento, y así obtener las adaptaciones al mismo.

El RFS es un método de entrenamiento que restringe parcialmente el flujo arterial y que restringe totalmente el venoso en los músculos trabajados durante el ejercicio. Este método se remonta al pasado, donde era conocido como *kaatsu training*, que significa ‘entrenamiento con presión añadida’. Ahora se ha expandido por el mundo, conocido como entrenamiento con RFS (o BFR en inglés, *Blood Flow Restriction*), y se consigue usando un sistema de torniquete

neumático (Patterson et al., 2019). Los efectos que se pueden conseguir a través de este método son muy variados, como pueden ser: para el aumento de masa muscular, fuerza y resistencia (Tegtbur et al., 2020); para la prevención y tratamiento de enfermedades óseas (Bittar et al., 2018); para atenuar los efectos de la sarcopenia (Hughes et al., 2017), etc. En conclusión, como estos beneficios se obtienen entrenando con cargas bajas (<30% de la 1RM), este método es recomendable para aquellas personas que no puedan soportar altas intensidades y obtener los mismos beneficios que se consiguen a través del entrenamiento de fuerza tradicional, aunque no sea igual de efectivo para las adaptaciones neuromusculares.

El método de RFS aumenta la fuerza y/o hipertrofia en el músculo esquelético en población joven sana y en mayores, así como en población que necesita rehabilitación. El entrenamiento de fuerza con cargas bajas y con el uso de RFS puede provocar adaptaciones en la hipertrofia, convirtiéndolo en una alternativa potencial al entrenamiento con cargas altas con respecto a la pérdida de masa muscular. Tanto la tensión mecánica como el estrés metabólico son los principales mecanismos que provocan la hipertrofia de los músculos a través del entrenamiento de fuerza, los cuales actúan para activar otros mecanismos secundarios asociados (Pearson y Hussain, 2014).

Para que se produzcan las adaptaciones musculares en el entrenamiento de fuerza con RFS han de tenerse en cuenta varios aspectos, los cuales son (Patterson et al., 2019) la cantidad de presión, el tamaño de los manguitos y su posición, la intensidad, el tiempo bajo oclusión, el volumen, los periodos de descanso y la frecuencia.

La cantidad que se requiere para cesar el flujo sanguíneo de un miembro estará relacionada con las características individuales de dicho miembro; de la forma, anchura y longitud del manguito; del tamaño del miembro y de la presión sanguínea individual. Se recomienda que la presión ejercida sea del 40-80% de la presión oclusiva arterial (POA) durante el entrenamiento.

El tamaño de los manguitos y posición es importante. Un manguito más ancho requiere una presión menor, debido a que ocupa una mayor área en la que ejerce la presión. No obstante, aunque en un manguito más amplio se necesitará proporcionar menor presión a cualquier % de la POA, en un manguito más estrecho inflado a mayor presión (pero en el mismo % de la POA que en el otro manguito), se podrá observar una reducción del flujo sanguíneo similar. Se recomienda por tanto el uso de manguitos más amplios, pero el uso de manguitos extremadamente amplios limitará el movimiento durante el ejercicio. La colocación de los mismos se realiza en la región más proximal del miembro que se vaya a trabajar.

En cuanto a la intensidad, la presión aplicada durante el ejercicio estará determinada en parte por la intensidad relativa a la que se realice el mismo. Una carga del 20-40% de la 1RM será suficiente para que se produzcan esas adaptaciones musculares. Bajas cargas en entrenamientos con RFS han sido demostradas para mejorar de forma efectiva tanto el tamaño como la actividad de los músculos. Esto ofrece una forma viable para entrenar fuerza a individuos que no pueden tolerar una alta carga mecánica inherente a altas intensidades (Sieljacks et al., 2017).

De acuerdo con Patterson et al. (2019), el tiempo bajo oclusión del flujo se recomienda que sea un periodo entre 5-10 minutos por ejercicio, para no aumentar el riesgo de lesión. Para el volumen, es suficiente realizar 75 repeticiones, divididas entre 3-5 series, aunque otra opción válida es trabajar hasta el fallo, pero no es necesario, debido a que el riesgo de lesión puede ser mayor. Por otra parte, se recomienda descansar entre 30-60 segundos entre series, y casi siempre se mantiene la restricción del flujo sanguíneo durante ese tiempo. Atendiendo a la frecuencia, lo más recomendable es realizar 2-3 sesiones por semana, como en la programación de entrenamiento de fuerza normal.

Hay estudios en los que se han visto que pueden ser igual de efectivos o incluso más que un método tradicional, pero ninguna investigación se ha centrado en analizar ese tipo de entrenamiento sobre la velocidad de movimiento, importante sobre todo en el mundo del entrenamiento deportivo. El objetivo de todo entrenamiento de fuerza es desplazar la curva de fuerza-tiempo a la izquierda, de forma que, aunque la fuerza manifestada sea la misma, el tiempo para alcanzarla ha sido menor, y esto tiene una repercusión directa en la mejora del rendimiento deportivo (González-Badillo y Ayestarán, 2002). También tenemos que comentar que tampoco se ha visto si este tipo de entrenamiento podría provocar al nivel de fatiga con respecto a un método tradicional.

La fatiga podemos entenderla como la reducción aguda en la habilidad de producir máxima fuerza o potencia debido a un ejercicio (Twomey et al., 2017) o mantenerla en el tiempo (San Juan et al., 2019), y podemos cuantificarla mediante la monitorización del CMJ antes y tras la finalización de una sesión de entrenamiento. El CMJ es un indicador de la fuerza explosiva y la potencia de los miembros inferiores, por lo que se asocia con el rendimiento en muchas modalidades deportivas (Markovic et al., 2004). Del mismo modo, si el CMJ se realiza al inicio y al finalizar un protocolo de ejercicio, podría ser un indicador de fatiga muscular. Ocurre igual con la pérdida de velocidad, pues se considera como una herramienta validada para cuantificar

objetivamente la fatiga neuromuscular durante el entrenamiento de fuerza (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011).

Por último, debemos remarcar que no hay ninguna investigación que haya comprobado los efectos de un método tradicional con respecto a la RFS sobre la velocidad de movimiento, así como de los efectos sobre los niveles de fatiga.

3. OBJETIVOS.

El principal objetivo de este estudio es conocer las respuestas cinemáticas y fatiga muscular a corto plazo, tras la realización de 2 sesiones de entrenamiento de fuerza con una intensidad del 60% de la 1RM (relación de carga individual), siendo una sesión con un método de entrenamiento tradicional y la otra con RFS, en el ejercicio de sentadilla completa en multipower. Las variables evaluadas para comprobar las respuestas tras la sesión de entrenamiento son el lactato sanguíneo, la altura de vuelo del CMJ, la velocidad y potencia media en el Test de Sentadilla al 60% de la 1RM, así como la velocidad y potencia media de cada protocolo de entrenamiento.

4. METODOLOGÍA.

4.1. Participantes.

En este estudio participaron 20 sujetos varones, jóvenes y físicamente activos. En su mayoría eran estudiantes o graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, y todos ellos tenían experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, estando familiarizados con la técnica de sentadilla profunda, ya que usualmente forma parte de sus sesiones de entrenamiento. Todos los participantes cumplían las recomendaciones recogidas por la American College of Sports Medicine (ACSM, 2014), siendo estas realizar mínimo 30 minutos al día de actividad física de moderada intensidad (3-6 METs) unos 5 días a la semana, y mínimo 20 minutos al día de actividad vigorosa (≥ 6 METs) unos 3 días a la semana. Además, recomienda a los adultos realizar entrenamiento de fuerza como mínimo 2 veces a la semana.

Antes de comenzar con la investigación, se les informaron sobre el objetivo de la misma, el procedimiento, el tiempo que dedicarían y los posibles riesgos que podrían ocurrir, firmando finalmente un consentimiento informado (ANEXO 1).

La edad media de los sujetos era de $24,5 \pm 12,5$ años, un peso de $75,54 \pm 10,11$ kg, y una talla de $1,78 \pm 0,07$ m (Tabla 2). Realizaban una media de $3 \pm 1,45$ de sesiones de entrenamiento semanales, y tenían una experiencia media de entrenamiento de $4,65 \pm 1,95$ años. Por otra parte, para calcular el IMC se utilizó la fórmula de Quetelec: $IMC = \text{Peso (kg)} / \text{Talla (m)}^2$. En función del valor de IMC, se establecen distintas categorías de peso que comprenden (Dwivedi et al., 2020): ≤ 18 : por debajo del peso apropiado; 18-24.9: normal; 25-30: sobrepeso; 30-35: obesidad; ≥ 35 : obesidad mórbida. El IMC medio de nuestros sujetos era de $23,72 \pm 1,69$, por lo que se encontraban dentro de la normalidad.

Tabla 2.

Datos descriptivos de los participantes.

Variable	Valores
Edad	$24,5 \pm 1,5$
Peso	$75,54 \pm 10,11$
Talla	$1,78 \pm 0,07$
Índice de Masa Corporal (IMC)	$23,72 \pm 1,69$
Sesiones de entrenamiento semanal	$3 \pm 1,45$
Años de experiencia de entrenamiento	$4,65 \pm 1,95$

Para participar en el estudio, los sujetos debían cumplir unos criterios de inclusión los cuales eran los siguientes:

1. No padecer ninguna enfermedad o problema de salud que le provocase una mala ejecución del ejercicio del estudio, así como un riesgo mayor de ese problema, tal como limitaciones físicas, lesiones musculoesqueléticas, anomalías cardíacas o enfermedades respiratorias, entre otras.
2. No realizar otra actividad física exigente o entrenamiento de los miembros inferiores que pudiese alterar los resultados del estudio durante las 2 semanas del mismo.

4.2. Diseño experimental.

Este estudio experimental se realizó con el propósito de observar cómo afecta al organismo la fatiga al ejecutar dos protocolos de entrenamiento diferentes, así como analizar algunas variables cinéticas a lo largo del mismo. Para ello, los participantes acudieron a 2 sesiones en las que, de forma aleatoria, realizaron 2 protocolos de entrenamiento diferentes, debiendo estar separados como mínimo por 72 horas. El estudio se realizó en 3 semanas reales para un sujeto, de forma que: la primera semana fue para medir la presión oclusiva arterial (POA) y realizar el test progresivo de cargas, para determinar la velocidad individual a la que el sujeto tenía que levantar su 60%RM; y las 2 semanas restantes, para cada uno de los protocolos que constituyen las dos condiciones experimentales. La primera sesión, de medición, tenía una duración de 1 hora aproximadamente; y en las 2 sesiones restantes, para cada protocolo, se invertían aproximadamente 40 minutos. Así mismo, el estudio daba la opción de reducir esas 2 semanas (de entrenamiento) a 1 semana, de forma que entre cada sesión hubiera un tiempo de descanso de 72h.

En cada sesión experimental, cuando el sujeto llegaba tenía que guardar un reposo de 10 minutos tumbado, para posteriormente analizar las concentraciones de lactato sanguíneo ($Lactato_{pre}$). Seguidamente realizaba un calentamiento general, y se medía su altura de salto a través de un CMJ (CMJ_{pre}). Después, se realizaba un calentamiento específico y realizaba un test de sentadilla ($TestSentadilla_{pre}$) antes del protocolo de entrenamiento. En ambos protocolos, el sujeto levantaba su 60% de la 1RM, teniendo en cuenta la velocidad individual a la que levantaba ese porcentaje. El entrenamiento consistía en 3 series de 8 repeticiones de sentadilla completa con una carga del 60% de la 1RM en multipower, y 2 minutos de descanso entre

series, tanto en el protocolo tradicional como en el de RFS. Tras finalizar, se medía el lactato ($Lactato_{post}$) en el minuto 1,5, la altura de salto en CMJ (CMJ_{post}) a los 2 minutos y el test de sentadilla ($TestSentadilla_{post}$) a los 5 minutos (Figura 1).

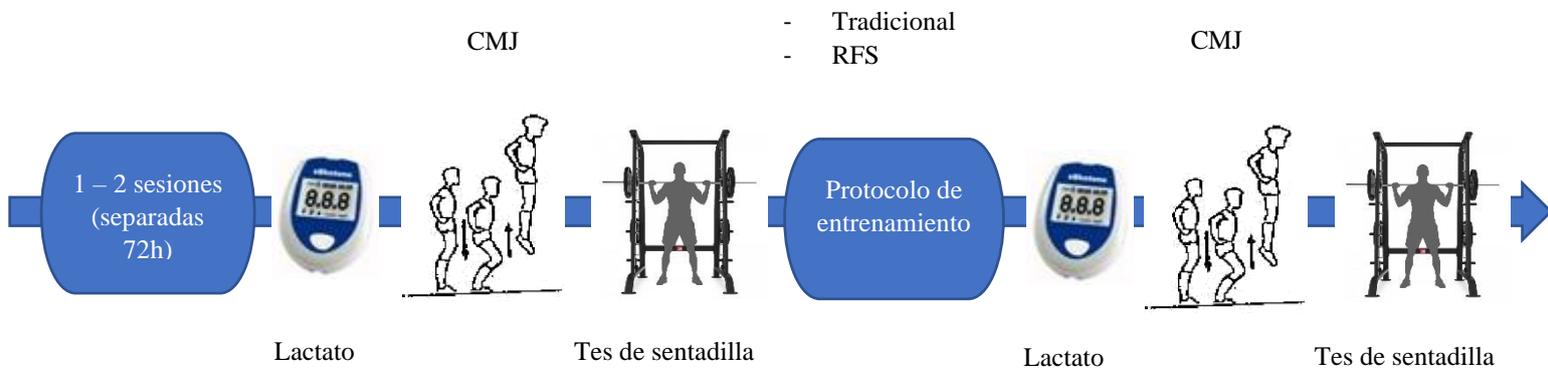


Figura 1.

Diseño experimental. CMJ: Counter Movement Jump; RFS: Restricción del Flujo Sanguíneo.

4.3. Evaluaciones iniciales.

Se realizaron dos evaluaciones iniciales: la POA y el test progresivo de cargas. Esto se realizaba solamente en la semana anterior a comenzar con las sesiones de entrenamiento experimentales.

1. POA – Presión Oclusiva Arterial.

El sujeto debía permanecer 10 minutos tumbado antes de la medición. Se colocaban los manguitos (Manguito Isquemia Cónico Simple Pierna 86x12cm, C y C Medical, Granada, Spain) (Figura 3) en el borde superior del muslo, pegados a las caderas. A través de una ecografía Doppler manual (Doppler Vascular D900, Bionox S.L., Barcelona, Spain) (Figura 2), junto con una sonda para interceptar el sonido (Sonda Vascular VP8-XS de 8Mhz, Bionox S.L., Barcelona, Spain), se medía el ultrasonido de la arteria tibial posterior. Cada 5 minutos se medía una pierna, repitiendo 2 veces el procedimiento por cada pierna para asegurar el resultado. Primero se iba aumentando la presión con los infladores de mano (Manometer Hand Inflator 600mm Hg, C y C Medical, Granada, Spain) (Figura 4) en 10mmHg, hasta que el sonido del flujo cambiaba y se volvía más lento, donde a partir de entonces se iba aumentando en 5mmHg. Cuando el sonido cesara, se determinaba el valor de la POA (Sieljacks et al., 2017).



Figura 2.

Doppler y sonda (Doppler Vascular D900 y Sonda Vascular VP8-XS de 8Mhz, Bionox S.L., Barcelona, Spain).



Figura 3.

Manguitos (Manguito Isquemia Cónico Simple Pierna, C y C Medical, Granada, Spain).



Figura 4.

Infladores de mano (Manometer Hand Inflator 600mm Hg, C y C Medical, Granada, Spain).

2. Test progresivo de cargas.

El sujeto comenzaba con una activación, realizando una carrera continua durante 5 minutos. Posteriormente, hacía 2 series de 10 repeticiones de sentadillas profundas con el propio peso corporal, y por último 1 serie de 6 sentadillas profundas (3 suaves y 3 rápidas – las subidas –) con 20kg (la barra solo).

Aunque todos los sujetos estaban familiarizados con la ejecución técnica de la sentadilla completa, se daba una previa explicación (Figura 5):

- Los pies deben estar separados a la anchura de los hombros o ligeramente más separados; las rodillas y las caderas extendidas en posición anatómica neutral, y la columna vertebral en posición vertical manteniendo su curvatura natural. La sentadilla comienza con una fase de descenso con la flexión de caderas, rodillas y tobillos. Es usual indicar bajar hasta que los muslos se encuentren paralelamente al suelo y las caderas estén al menos al nivel de las rodillas o por debajo de las mismas. Posteriormente, la fase de ascenso se realiza con la triple extensión de caderas, rodillas y tobillos, continuando hasta que el sujeto se encuentre en la posición inicial (Myer et al., 2014). Es importante la contracción isométrica de los músculos del torso para controlar el movimiento y mantener la posición vertical del mismo durante toda la ejecución.

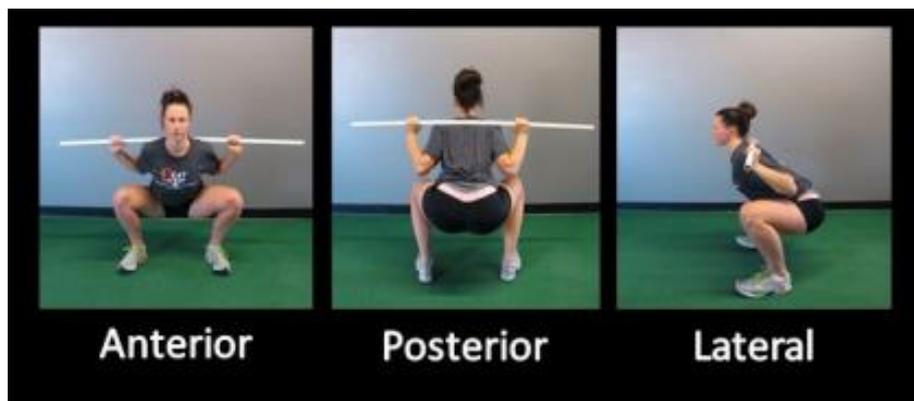


Figura 5.

Ejecución técnica de sentadilla completa (Myer et al., 2014).

Antes de realizar cada serie, la plataforma se calibraba, el sujeto subía a la plataforma, se pesaba y se ponía a 0, para que no contara la fuerza del peso corporal. El test de sentadillas se hacía en una máquina tipo Smith (Peroga, Fitness Line, Peroga S.L., Murcia, Spain) (Figura 6). El protocolo fue el descrito previamente por Pareja-Blanco et al. (2020), debiendo realizar los

sujetos 3 repeticiones por cada carga, aumentándose de 10kg en 10kg, cogiendo la velocidad más alta de las repeticiones. Cuando la velocidad estuviera entre 1 m/s y 0,8 m/s, cambiaba a 2 repeticiones. Si la velocidad de ejecución daba por debajo de 0,8 m/s, pasaba a hacer 1 repetición. Si se iba acercando la velocidad a 0,6 m/s, en vez de aumentar la carga 10kg, se aumentaba entre 5kg y 2,5kg. Se paraba el test cuando el sujeto llegaba a una velocidad de ejecución de unos 0,5 m/s. El tiempo de descanso entre serie era de 3 minutos, aunque cuando eran cargas más altas, se podía dar hasta 5 minutos de descanso. Si había un fallo técnico, se daba el tiempo de descanso normal más 2 minutos (un total de 5 minutos).

De aquí se sacaba la relación individual de cada sujeto para realizar los protocolos de entrenamiento con la velocidad a la que hacía su 60% de la 1RM.



Figura 6.

Máquina tipo Smith (Peroga, Fitness Line, Peroga S.L., Murcia, Spain).

4.4. Valoración del lactato en sangre.

Tras los 10 minutos de reposo a la llegada del sujeto, se medía el lactato en sangre para analizar las concentraciones de lactato en reposo. Primeramente, se limpiaba el dedo con alcohol, se secaba con algodón, y se pinchaba mediante una lanceta (Figura 8) en el pulpejo del dedo índice o corazón de la mano derecha. Se sacaba la primera gota, y se volvía a limpiar con el algodón, para evitar que se midiera el lactato en una muestra que haya tenido contacto con el alcohol u otras partículas que pudiesen alterar el valor. La siguiente gota era la que se recogía a través del instrumento de medición Lactate Pro 2 (Lactate Pro 2 LT-1730, Arkray, Kyoto, Japan) (Figura 7), y a los 10 segundos, se conocía el resultado del lactato en sangre (Lactato_{pre}).

El mismo procedimiento se hacía al minuto y medio de terminar el protocolo de entrenamiento ejecutado para conocer la fatiga que había producido ($Lactato_{post}$). Todos los tiempos se medían precisamente con un cronómetro (Geonaute Cronómetro ONstart 110, Decathlon S.A., France) (Figura 9).



Figura 7.

Medidor de lactato (Lactate Pro 2 LT-1730, Arkray, Kyoto, Japan).



Figura 8.

Lanceta.



Figura 9.

Cronómetro (Geonaute Cronómetro ONstart 110, Decathlon S.A., France).

4.5. Activación general.

Tras la medición del lactato, el sujeto realizaba una activación general comenzando por 5 minutos de carrera continua. Seguidamente realizaba 2 series de 10 repeticiones de sentadilla profunda con el propio peso corporal, descansando unos 20 segundos entre serie. Seguía con 5 CMJ progresivos, y posteriormente, 3 CMJ submáximos, descansando entre cada salto alrededor de 10 segundos.

4.6. Valoración del CMJ.

Seguidamente de la activación general, realizaba 3 CMJ máximos (CMJ_{pre}) en la plataforma OptoJump (OptoJump Next, Microgate, Bolzano, Italy) (Figura 10), escogiendo aquel en el que la altura de vuelo fuese mayor, con un descanso intermedio de unos 5 segundos.

Ejecución CMJ (Petrigna et al., 2019): se colocan los pies a la anchura de los hombros y las manos en las caderas. Seguidamente, se baja a una posición de sentadilla de 90° para rápidamente subir y saltar. Los pies no deben moverse en el aire, para no modificar el tiempo de vuelo, así como tampoco utilizar los brazos (Figura 11). Se recomienda caer al suelo con las punteras de los pies y flexionando las rodillas ligeramente, para evitar bloqueos de rodillas y posibles lesiones. Si el sujeto salta hacia delante o hacia atrás, si ejecuta mal el gesto, o si su marca varía más de 2cm en las 3 repeticiones, se pedirá que se vuelva a ejecutar otro salto.

Este procedimiento se realizaba de nuevo tras el protocolo de entrenamiento. A los 2 minutos (30 segundos después de la medición del lactato) se medían 2 CMJ (CMJ_{post}), separados por 10 segundos.



Figura 10.

Plataforma de salto (OptoJump Next, Microgate, Bolzano, Italy).

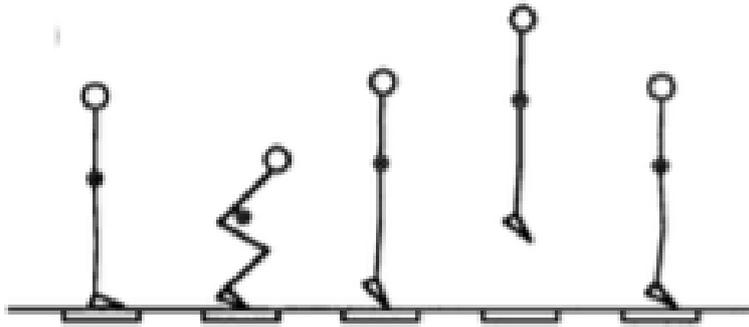


Figura 11.

Ejecución técnica del CMJ.

4.7. Activación específica.

A continuación de la medición del CMJ, realizaba una activación específica progresiva para el entrenamiento. Primero realizaba 6 repeticiones de sentadilla completa, con la carga de la barra (20kg) a la máxima velocidad posible. Después, realizaba 6 repeticiones con una intensidad del 40% de la RM (con la velocidad y carga relacionada obtenida en el test progresivo de cargas), 4 repeticiones al 50% de la RM, y 3 repeticiones al 60% de la RM. Entre estas series de activación se daba un descanso de entre 2 y 3 minutos.

4.8. Test de sentadilla.

El test de sentadilla correspondía además con la última fase de la activación específica comentada anteriormente, con las 3 repeticiones de sentadilla al 60% de la RM (TestSentadilla_{pre}). De esta forma, se analizaba tanto la velocidad media como la potencia media del sujeto antes de realizar el protocolo de entrenamiento.

Todas las mediciones de las repeticiones de sentadillas, tales como el desplazamiento de la barra, aceleración, fuerza, velocidad, potencia, etc., se almacenaron en una base de datos mediante un transductor lineal de gran precisión y fiabilidad (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech, Murcia, Spain) (Figura 12), unido a la máquina tipo Smith.

De la misma forma, se realizaba también dicho test a los 5 minutos de terminar el entrenamiento, a los 3 minutos tras medir la altura del salto del CMJ (TestSentadilla_{post}).



Figura 12.

Medidor lineal de velocidad (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech, Murcia, Spain).

4.9. Protocolos de entrenamiento.

Todas las variables medidas anteriormente se realizan antes y después de dos protocolos de entrenamiento para ver su efecto, los cuales son:

➤ **Entrenamiento con RFS.**

En él se realizaban 3 series de 8 repeticiones, seguidas de sentadilla profunda con el 60% de la 1RM individual en multipower. Se realizaba con los manguitos, inflados cuando el sujeto está sentado, colocados en los bordes superiores de los muslos, y con una presión del 50% del valor de la POA del sujeto (Patterson, 2019), medida en los test iniciales. El descanso entre serie era de 2 minutos. En este tiempo de descanso, el sujeto debía estar sentado con la espalda erguida y con las rodillas flexionadas con un ángulo de 90°. El motivo de esta posición de descanso era para mantener la presión del 50% del sujeto cuando estaba sentado, ya que de pie cambiaría a ser una presión del 40% de su POA (Sieljacks et al., 2017).

➤ **Entrenamiento tradicional.**

En él se realizaban 3 series de 8 repeticiones seguidas de sentadilla profunda con el 60% de la 1RM individual en multipower. El descanso también era de 2 minutos, y colocados en la misma posición que en el protocolo anterior, sentados con las rodillas flexionadas en 90°, para que se realizara el estudio en las mismas condiciones.

De estos 2 modelos de entrenamiento se analizaban tanto la velocidad como la potencia media en cada serie.

4.10. Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados en el programa de análisis estadístico IBM SPSS Statistics 20.0. Se calcularon las medias y desviaciones típicas (SD) de todas las variables, comprobándose su normalidad a través del Test Shapiro-Wilk. Para analizar las concentraciones del lactato sanguíneo, el rendimiento en el test de CMJ medido mediante la altura de vuelo, así como las variables cinemáticas de velocidad y potencia media mediante el test de sentadilla y durante los protocolos de entrenamiento, se utilizó una ANOVA de medidas repetidas con dos factores para tiempo (series 1, 2 y 3), intervención (protocolo RFS y tradicional) así como la interacción de tiempo x intervención, con un ajuste por Bonferroni. Posteriormente, se usó un Post-Hoc para detectar posibles diferencias en comparaciones apartes. La diferencia significativa se estableció en $p < 0,05$.

5. RESULTADOS.

5.1. Protocolos de entrenamiento: tradicional vs. RFS.

En el análisis de la velocidad media (Tabla 3) en el protocolo de entrenamiento se observaron diferencias estadísticamente significativas para la intervención siendo superior en el método de entrenamiento tradicional ($0,78 \pm 0,19$ vs $0,743 \pm 0,017$ m/s; $p=0,003$), así como para el factor tiempo ($p<0,001$). De este modo, se observó una menor velocidad media en la serie 3 con respecto a la serie 1 ($0,729 \pm 0,021$ vs $0,794 \pm 0,018$ m/s; $p<0,001$) y con respecto a la serie 2 ($0,729 \pm 0,021$ vs $0,763 \pm 0,017$ m/s; $p<0,001$). En el análisis de los protocolos dentro de cada una de las series, se observó una mayor velocidad media en favor del protocolo de entrenamiento tradicional en la serie 1 ($p=0,004$) y en la serie 3 ($p=0,004$). En cuanto al protocolo de entrenamiento tradicional, se observó que hubo una menor velocidad media en la serie 3 con respecto a la serie 1 ($p<0,001$) y serie 2 ($p=0,029$), al tiempo que la serie 2 manifestó una pérdida de velocidad media con respecto a la serie 1 ($p<0,001$). Sin embargo, en el protocolo de entrenamiento con RFS, hubo una pérdida de velocidad media en la serie 3 con respecto a la serie 1 ($p=0,002$) y serie 2 ($p=0,001$), no detectándose diferencias en la velocidad media entre serie 1 y serie 2 ($p=0,268$).

En el análisis de la potencia media (Tabla 3) en el protocolo de entrenamiento se observaron diferencias estadísticamente significativas para la intervención siendo superior en el método de entrenamiento tradicional ($579,947 \pm 21,969$ vs $523,632 \pm 16,598$ W; $p<0,001$), así como para el factor tiempo ($p<0,001$). De este modo, se observó una menor potencia media en la serie 3 con respecto a la serie 1 ($520,198 \pm 19,617$ vs $584,175 \pm 21,997$ W; $p<0,001$) y con respecto a la serie 2 ($520,198 \pm 19,617$ vs $550,995 \pm 17,062$ W; $p=0,001$). En el análisis de los protocolos dentro de cada una de las series, se observó una mayor potencia media a favor del protocolo de entrenamiento tradicional en la serie 1 ($p<0,001$), en la serie 2 ($p=0,003$) y en la serie 3 ($p<0,001$). En cuanto al protocolo de entrenamiento tradicional, se observó que hubo una mayor potencia media en la serie 1 con respecto a la serie 2 ($p=0,001$) y con la serie 3 ($p=0,001$), no observándose diferencias entre las series 2 y 3 ($p=0,07$). No obstante, en el protocolo de entrenamiento con RFS, hubo una pérdida de potencia media en la serie 3 con respecto a la serie 1 ($p=0,001$) y serie 2 ($p=0,002$), no viendo diferencias en la potencia media entre serie 1 y 2 ($p=0,176$).

Tabla 3.

Media y SD de Velocidad y Potencia Media en las 3 series de los 2 protocolos.

Variable	Protocolo	Serie 1	Serie 2	Serie 3	p-Value Tiempo	p-Value Intervención	p-Value Tiempo Intervención
Velocidad Media	RFS	0,77 ± 0,09 *	0,75 ± 0,07	0,71 ± 0,09 *. ^C	<0,001	0,003	0,287
	Tradicional	0,82 ± 0,08 *	0,77 ± 0,09 ^B	0,75 ± 0,10 *. ^C			
Potencia Media	RFS	555,52 ± 99,27*	528,43 ± 66,80*	486,95 ± 74,98*. ^C	<0,001	<0,001	0,258
	Tradicional	612,84 ± 103,00*. ^A	573,56 ± 94,34*	553,45 ± 107,38*			

RFS: restricción del flujo sanguíneo. Significación estadística fijada como $p < 0,05$; *: diferencias estadísticamente significativas entre protocolos dentro de una misma serie;

A: diferencias estadísticamente significativas entre serie 1 vs. serie 2 y serie 3 dentro de un mismo protocolo; B: diferencias estadísticamente significativas entre serie 2 vs.

serie 1 dentro de un mismo protocolo; C: diferencias estadísticamente significativas entre serie 3 vs. serie 1 y serie 2 dentro de un mismo protocolo.

5.2. Test de Sentadilla.

En el análisis de la velocidad media (Tabla 4) en el Test de Sentadilla se observaron diferencias estadísticamente significativas solamente para el factor tiempo ($p < 0,001$). De este modo, se observó una mayor velocidad media en el TestSentadilla_{pre} con respecto al TestSentadilla_{post} ($0,909 \pm 0,018$ vs $0,795 \pm 0,024$ m/s). En el análisis de los protocolos dentro de cada uno de los tiempos, no se observó ninguna diferencia significativa en la velocidad media entre TestSentadilla_{pre} ($p = 0,980$) y TestSentadilla_{post} ($p = 0,248$). En cuanto a dentro de los protocolos de entrenamiento, en ambos se observan una menor velocidad media en el TestSentadilla_{post} con respecto al TestSentadilla_{pre} ($p < 0,001$).

En el análisis de la potencia media (Tabla 4) en el Test de Sentadilla se observaron diferencias estadísticamente significativas para la intervención, siendo mayor en el protocolo de entrenamiento tradicional ($659,175 \pm 22,402$ vs $635,638 \pm 17,594$ W; $p = 0,034$), así como para el factor tiempo ($p < 0,001$). De este modo, se observó una mayor potencia media en el TestSentadilla_{pre} con respecto al TestSentadilla_{post} ($703,395 \pm 20,867$ vs $591,418 \pm 20,990$ W). En el análisis de los protocolos dentro de cada uno de los tiempos, se observó una mayor potencia media a favor del protocolo tradicional en el TestSentadilla_{post} ($p = 0,034$). En cuanto a dentro de los protocolos de entrenamiento, en ambos se observan una menor velocidad en el TestSentadilla_{post} con respecto al TestSentadilla_{pre} ($p < 0,001$).

5.3. Lactato.

En el análisis del lactato (Tabla 5) se observaron diferencias estadísticamente significativas solamente para el factor tiempo ($p < 0,001$). De este modo, se observó una menor cantidad de lactato sanguíneo en el Lactato_{pre} con respecto al Lactato_{post} ($1,616 \pm 0,101$ vs $9,295 \pm 0,679$ mmol/l). En el análisis de los protocolos dentro de cada uno de los tiempos, no se observó ninguna diferencia significativa en la cantidad de lactato sanguíneo entre Lactato_{pre} ($p = 0,268$) y Lactato_{post} ($p = 0,394$). En cuanto a dentro de los protocolos de entrenamiento, en ambos se observan una mayor cantidad de lactato sanguíneo en el Lactato_{post} con respecto al Lactato_{pre} ($p < 0,001$).

5.4. CMJ.

En el análisis de la altura del salto en el CMJ (Tabla 5) se observaron diferencias estadísticamente significativas solamente para el factor tiempo ($p < 0,001$). De este modo, se observó una mayor altura del salto en el CMJ_{pre} con respecto al CMJ_{post} ($38,181 \pm 1,364$ vs $31,761 \pm 1,036$ cm). En el análisis de los protocolos dentro de cada uno de los tiempos, se observó una mayor altura de salto a favor del protocolo tradicional en el CMJ_{post} ($p = 0,019$). En cuanto a dentro de los protocolos de entrenamiento, en ambos se observan una menor altura de salto en el CMJ_{post} con respecto al CMJ_{pre} ($p < 0,001$).

Tabla 4.

Media y SD de Velocidad y Potencia Media del Test de Sentadilla en el pre y post de los 2 protocolos.

Variable	Protocolo	Pre	Post	p-Value Tiempo	p-Value Intervención	p-Value Tiempo Intervención
Velocidad Media	RFS	0,91 ± 0,08 ^A	0,79 ± 0,11	<0,001	0,286	0,326
	Tradicional	0,91 ± 0,08 ^A	0,80 ± 0,12			
Potencia Media	RFS	696,73 ± 81,44 ^A	574,55 ± 89,30*	<0,001	0,034	0,288
	Tradicional	710,06 ± 111,67 ^A	608,29 ± 108,71*			

RFS: restricción del flujo sanguíneo. Significación estadística fijada como $p < 0,05$. *: diferencias estadísticamente significativas entre protocolos dentro de un mismo tiempo;

A: diferencias estadísticamente significativas entre PRE vs. POST dentro de un mismo protocolo.

Tabla 5.

Media y SD de Lactato y CMJ en el pre y post de los 2 protocolos.

Variable	Protocolo	Pre	Post	p-Value Tiempo	p-Value Intervención	p-Value Tiempo Intervención
Lactato	RFS	1,68 ± 0,55 ^A	9,49 ± 3,06	<0,001	0,252	0,588
	Tradicional	1,55 ± 0,44 ^A	9,09 ± 3,18			
CMJ	RFS	38,18 ± 6,02 ^A	30,61 ± 5,63*	<0,001	0,057	0,061
	Tradicional	38,18 ± 6,58 ^A	32,91 ± 4,39*			

RFS: restricción del flujo sanguíneo. CMJ: CounterMovement Jump. Significación estadística fijada como $p < 0,05$. *: diferencias estadísticamente significativas entre protocolos dentro de un mismo tiempo; A: diferencias estadísticamente significativas entre PRE vs. POST dentro de un mismo protocolo.

6. DISCUSIÓN.

Los resultados de la presente investigación han reportado que durante la realización de un entrenamiento de fuerza tradicional los niveles de velocidad y potencia media durante la realización de un protocolo consistente en tres series con una carga del 60% 1 RM es superior con respecto a un protocolo con RFS, registrándose diferencias estadísticamente superiores en los niveles de potencia media en cada una de las series.

Como se presentó en la fundamentación teórica, ambos protocolos son factibles para conseguir la hipertrofia muscular, incluso para aquellas personas que por algún inconveniente no puedan levantar cargas altas (>30%), es posible gracias al entrenamiento con RFS. No obstante, atendiendo a los mayores niveles de velocidad y de potencia durante el entrenamiento tradicional, podría sugerirse que este tipo de entrenamiento podría provocar unas adaptaciones superiores con respecto al protocolo de RFS sobre las adaptaciones de tipo neural. Atendiendo a las explicaciones de Pope et al. (2013), las adaptaciones neuromusculares que se consiguen a través del entrenamiento con RFS son principalmente dos: la resistencia muscular localizada y el reclutamiento de fibras musculares rápidas (ligado también a la hipertrofia). En la primera, se mejora la capacidad de continuar acciones musculares submáximas en tiempos prolongados, y también puede favorecer el fortalecimiento de músculos no entrenados a través de entrenamientos unilaterales. En la segunda, afirma que a través del entrenamiento con RFS se logra un mayor reclutamiento de las fibras musculares rápidas en comparación con protocolos sin RFS. Por otra parte, encontramos cómo las adaptaciones neuromusculares producidas a través del entrenamiento de fuerza, con la consiguiente mejora de la velocidad y potencia media de los ejercicios, son mayores que en el entrenamiento con RFS (Cormie et al., 2011; Pallarés et al., 2019; Beattie et al., 2014; Hammami et al., 2018). Entre estas adaptaciones encontramos: composición de la fibra muscular, área transversal, longitud de las fibras, ángulo de penación, reclutamiento y sincronización de unidades motoras, aumento de la actividad electromiográfica, coordinación intra- e inter- muscular e inhibición neural. Estas mejoras en adaptaciones neuromusculares se usan para el deporte de alto rendimiento, debido a sus beneficios. Según Pallarés et al. (2019), los entrenamientos de fuerza que envuelvan sentadillas tanto profundas como paralelas (aquellas que tengan un recorrido de movimiento mayor, provocarán mayores adaptaciones) maximizan el rendimiento neuromuscular y funcional en deportistas generales tanto en principiantes como experimentados. Por su parte, Beattie et al. (2014) expone una explicación de cómo el entrenamiento de fuerza mejora la función fuerza-velocidad del músculo

en atletas, pues las adaptaciones neuromusculares conseguidas tienen la capacidad de mejorar el rendimiento en atletas de resistencia a través del aumento de la economía y de la resistencia muscular específica. En una revisión sistemática realizada por Trowell et al. (2019) se concluye cómo el entrenamiento conjunto de fuerza y resistencia mejora el rendimiento en atletas de distancia con respecto al entrenamiento de resistencia solo, pudiéndose deber a las adaptaciones biomecánicas y neuromusculares provocadas por el entrenamiento de fuerza. En resumen, se podría concluir que las adaptaciones neuromusculares producidas por el entrenamiento de fuerza son mayores en el protocolo de entrenamiento tradicional, lo que podría originar una mayor transferencia positiva para el rendimiento deportivo.

En cuanto al efecto del tiempo, sin embargo, se ha comprobado que en el protocolo tradicional hay una disminución progresiva de los niveles de velocidad media y potencia en cada una de las series, mientras que en el protocolo con RFS dichas diferencias únicamente se observan a partir de la tercera serie. Sin embargo, dichas diferencias cinemáticas no se asociaron con diferencias en la respuesta del lactato sanguíneo ante los dos protocolos de entrenamiento. Esta disminución progresiva de la velocidad en el entrenamiento de fuerza tradicional se ha observado en diferentes estudios, como los realizados por Izquierdo et al. (2006), González-Badillo et al. (2011) o Pareja-Blanco et al. (2020). No obstante, al no existir estudios previos que hayan analizado en el entrenamiento con RFS la reducción de velocidad o potencia media progresivamente, puede ser que la diferente respuesta con respecto al entrenamiento tradicional (la no pérdida de velocidad) sea ocasionada por los niveles más bajos de velocidad y potencia media al inicio de la serie.

Analizando las concentraciones de lactato sanguíneo, solo se observaron diferencias significativa en cuanto al factor tiempo, de forma que los niveles de Lactato_{post} son mayores que los de Lactato_{pre}. La concentración de lactato en sangre sirve como medida indirecta del estrés metabólico (Pope et al., 2013) de un ejercicio, y va a depender de la producción, transportación, metabolización y eliminación del lactato (Wirtz et al., 2014). Algunos estudios han demostrado que el posible aumento de lactato en el entrenamiento de fuerza con RFS con respecto a uno tradicional puede deberse a las condiciones de isquemia e hipoxia intramuscular con la restricción del flujo sanguíneo provocado por los manguitos (Pope et al, 2013; Pearson y Hussain, 2014), pero en nuestro estudio no hemos encontrado diferencias significativas en cuanto a los niveles de lactato dependiendo del protocolo. Por otra parte, encontramos cómo aspectos del entrenamiento como volumen, carga, intensidad relativa, repeticiones por serie, periodos de descanso entre series, etc., pueden influenciar en las concentraciones de lactato

sanguíneo (Gollnick et al., 1986; Fink et al., 2018; Pierce et al., 1993; Wirtz et al., 2014). En el estudio realizado por Maté-Muñoz et al. (2016) se analizó el umbral láctico en la ejecución de media sentadilla. El umbral láctico marca el punto en el que las concentraciones de lactato sanguíneo empiezan a elevarse exponencialmente desde valores de reposo, y el mismo se observó en una intensidad del 25-30% de la 1RM. Por tanto, se podría concluir que la mayor cantidad de concentración de lactato sanguíneo con respecto al factor tiempo se debe tanto al volumen como a la intensidad de ambos protocolos de entrenamiento de fuerza.

Por su parte, en el análisis de los indicadores de fatiga neuromuscular o mecánica se observó una disminución tanto en los niveles de velocidad como de potencia media durante la realización del test de sentadilla, así como en la altura de vuelo en el CMJ al finalizar ambos protocolos, aunque los valores en el post son superiores en ambos test (velocidad y potencia media en sentadilla y altura de vuelo en CMJ) durante el protocolo de entrenamiento tradicional. La fatiga mecánica surge de los efectos sobre la capacidad de fuerza contráctil, que conduce a una incapacidad para generar fuerza (Maté-Muñoz et al., 2017). Entre los factores que provocan la aparición de fatiga muscular encontramos los grupos musculares involucrados, la duración e intensidad del ejercicio y el tipo de acción contráctil. El ejercicio de sentadilla se caracteriza por su ciclo de estiramiento-acortamiento, provocando una reducción de fuerza (Garnacho-Castaño et al., 2014). Por tanto, la fatiga mecánica puede medirse a través de un test CMJ y en la pérdida de velocidad en un test de sentadilla.

En los estudio realizados por Maté-Muñoz et al. (2017) y Garnacho-Castaño et al. (2015), se comprobó cómo, tras la realización del ejercicio de media sentadilla, se redujeron los niveles de altura de vuelo. No obstante, no siempre disminuye la altura del CMJ tras la realización de un esfuerzo intenso durante un tiempo determinado. En el estudio de Cortis y col. (2011), jugadores de baloncesto no solo mostraron buena capacidad de salto, sino que mantuvieron esta habilidad durante todo el juego. Esto podría deberse a que la realización de saltos en el baloncesto es crucial, y que generalmente son entrenados bajo condiciones máximas y de fatiga.

Por otro lado, centrándonos en la pérdida de velocidad como efecto de la fatiga muscular, tenemos que contemplar que durante un ejercicio de fuerza, y asumiendo que todas las repeticiones se están realizando con el máximo esfuerzo, involuntariamente, la velocidad va a disminuir a medida que la fatiga aparece (Izquierdo et al., 2006).

En el estudio realizado por Sánchez-Medina y González-Badillo (2011), se observa cómo la concentración de lactato tras la realización de un protocolo de ejercicio están altamente

relacionados con la reducción relativa de la velocidad en sentadilla y la altura de vuelo del CMJ. Por tanto, tanto el lactato sanguíneo como la pérdida de velocidad y el CMJ podrían ser buenos indicadores de fatiga mecánica y metabólica.

Teniendo en cuenta los resultados que se han obtenido en este estudio, harían falta futuras líneas de investigación que estudiaran estas variables (pérdida de velocidad y potencia media, y pérdida de altura de vuelo en CMJ) en el método de entrenamiento con RFS, para que sus beneficios fueran mayores. Por otro lado, sería interesante realizar una intervención de un entrenamiento con RFS de mayor duración, para ver las posibles adaptaciones neuromusculares que obtendrían los participantes, comparándolo con el entrenamiento de fuerza tradicional.

7. CONCLUSIONES.

El principal objetivo de este estudio era conocer tanto las respuestas cinemáticas como la fatiga muscular a corto plazo tras la realización de 2 sesiones de entrenamiento de fuerza, uno con un método de entrenamiento tradicional y otro con RFS en el ejercicio de sentadilla completa. En base a los resultados de la presente investigación, las principales conclusiones son:

- En cuanto a la velocidad y potencia media durante cada protocolo de entrenamiento, a medida que iba pasando el tiempo y se concentraba un mayor número de repeticiones, tanto la velocidad como la potencia disminuían en los 2 protocolos. No obstante, la reducción de estos valores en el protocolo con RFS fue mayor que en el método tradicional, pudiéndose explicar por la mayor acumulación de fatiga tanto mecánica como muscular. Es por ello por lo que la aplicación de estos sistemas de entrenamiento se podría realizar en base a dos objetivos diferentes. De este modo, si lo que se busca es aumentar el rendimiento deportivo, podría ser recomendable seguir un método de entrenamiento de fuerza tradicional, debido a las mayores adaptaciones neuromusculares que se producen. Por otra parte, el entrenamiento con RFS es beneficioso para aquella población que, por diversas causas, no pueden soportar una carga determinada para obtener los beneficios que se consiguen con el entrenamiento tradicional, como puede ser para pacientes con enfermedades como párkinson, esclerosis múltiple o fibromialgia, o para la readaptación de lesiones.
- Por otra parte, tenemos las diferencias en la fatiga metabólica y mecánica. En ambos protocolos, hemos observado cómo la concentración de lactato sanguíneo ha aumentado y cómo la altura de vuelo en CMJ y la velocidad y potencia media en el test de sentadilla fueron menores tras el entrenamiento. No obstante, estos valores fueron más notorios, aunque no significativamente, en el entrenamiento con RFS con respecto al método tradicional. La explicación a esta diferencia puede deberse a la situación de hipoxia intramuscular e isquemia que produce la restricción del flujo por la colocación de los manguitos en la parte más proximal de los grupos musculares que se van a trabajar.
- Como aplicación práctica, los resultados de la presente investigación ponen de manifiesto que el método de entrenamiento de fuerza (método tradicional o con RFS) dependerá tanto de la población como de los objetivos del entrenamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. ACSM (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181915670>
2. Arrayas, M. J. (2019). *Apuntes de Entrenamiento Deportivo I*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
3. Barakat, R., y Perales, M. (2016). Resistance Exercise in Pregnancy and Outcome. *Clinical Obstetrics and Gynecology*, 59(3), 591–599. <https://doi.org/10.1097/grf.0000000000000213>
4. Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., y Carson, B. P. (2014). The Effect of Strength Training on Performance in Endurance Athletes. *Sports Medicine*, 44(6), 845–865. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0157-y>
5. Biddle, S. J. H., y Asare, M. (2011). Physical activity and mental health in children and adolescents: a review of reviews. *British Journal of Sports Medicine*, 45(11), 886–895. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090185>
6. Bird, S. P., Tarpinning, K. M., y Marino, F. E. (2005). Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness. *Sports Medicine*, 35(10), 841–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00002>
7. Bittar, S. T., Pfeiffer, P. S., Santos, H. H., y Cirilo-Sousa, M. S. (2018). Effects of blood flow restriction exercises on bone metabolism: a systematic review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(6), 930–935. <https://doi.org/10.1111/cpf.12512>
8. Busch, A. J., Webber, S. C., Richards, R. S., Bidonde, J., Schachter, C. L., Schafer, L. A., Danyliw, A., Sawant, A., Dal Bello-Haas, V., Rader, T. y Overend, T. J. (2013). Resistance exercise training for fibromyalgia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 12. Art. No.: CD010884. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010884>
9. Codella, R., Ialacqua, M., Terruzzi, I., y Luzi, L. (2018). May the force be with you: why resistance training is essential for subjects with type 2 diabetes mellitus without complications. *Endocrine*, 62(1), 14–25. <https://doi.org/10.1007/s12020-018-1603-7>
10. Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146. <https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
11. Cortis, C., Tessitore, A., Lupo, C., Pesce, C., Fossile, E., Figura, F., y Capranica, L. (2011). Inter-Limb Coordination, Strength, Jump, and Sprint Performances Following

- a Youth Men's Basketball Game. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 135–142. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bde2ec>
12. Crowley, E., Harrison, A. J., y Lyons, M. (2017). The Impact of Resistance Training on Swimming Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(11), 2285–2307. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0730-2>
 13. Dwivedi, A.K., Dubey, P., Cistola, D.P., y Reddy, S. Y. (2020). Association Between Obesity and Cardiovascular Outcomes: Updated Evidence from Meta-analysis Studies. *Current Cardiology Report*, 22(4), 22-25. <https://doi.org/10.1007/s11886-020-1273-y>
 14. Faigenbaum, A. D., y Myer, G. D. (2009). Resistance training among young athletes: safety, efficacy, and injury prevention effects. *British Journal of Sports Medicine*, 44(1), 56–63. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.068098>
 15. Fink, J., Schoenfeld, B. J., Kikuchi, N., y Nakazato, K. (2018). Effects of drop set resistance training on acute stress indicators and long-term muscle hypertrophy and strength. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(5), 597-605. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06838-4>
 16. Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., y Ryan, E. D. (2019). Resistance Training for Older Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2019–2052. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003230>
 17. Garnacho-Castaño, M. V., Domínguez, R., y Maté-Muñoz, J. L. (2015). Understanding the Meaning of Lactate Threshold in Resistance Exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 36(5), 371–377. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398495>
 18. Gollnick, P. D., Bayly, W. M., y Hodgson, D. R. (1986). Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18(3), 334–340. <https://doi.org/10.1249/00005768-198606000-00015>
 19. González-Badillo, J. J., y Ayestarán, E. G. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo: texto básico del Máster Universitario en Alto Rendimiento Deportivo del Comité Olímpico Español y de la Universidad Autónoma de Madrid*. Madrid: Inde.
 20. González-Badillo, J. J., Marques, M. C., y Sánchez-Medina, L. (2011). The Importance of Movement Velocity as a Measure to Control Resistance Training Intensity. *Journal of Human Kinetics*, 29A(Special Issue), 15-19. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0053-6>

21. González-Badillo, J. J., y Sánchez-Medina, L. (2010). Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine*; 31(5), 347 – 352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
22. Hammami, M., Gaamouri, N., Shephard, R. J., y Chelly, M. S. (2018). Effects of Contrast Strength vs. Plyometric Training on Lower Limb Explosive Performance, Ability to Change Direction and Neuromuscular Adaptation in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2094-2103. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002425>
23. Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., y Patterson, S. D. (2017). Blood Flow Restriction Training in Clinical Musculoskeletal Rehabilitation: A Systematic Review and Meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), 1003-1011. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
24. Izquierdo, M., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ibáñez, J., Kraemer, W. J., Altadill, A., Eslava, J., y Gorostiaga, E. M. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *International Journal of Sports Medicine*, 27(9), 718–724. <https://doi.org/10.1055/s-2005-872825>
25. Khadanga, S., Savage, P. D., y Ades, P. A. (2019). Resistance Training for Older Adults in Cardiac Rehabilitation. *Clinics in Geriatric Medicine*, 35(4), 459-468. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2019.07.005>
26. Kristensen, J., y Franklyn-Miller, A. (2011). Resistance training in musculoskeletal rehabilitation: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 46(10), 719–726. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.079376>
27. LeBouthillier, D. M., y Asmundson, G. (2017). The efficacy of aerobic exercise and resistance training as transdiagnostic interventions for anxiety-related disorders and constructs: A randomized controlled trial. *Journal of anxiety disorders*, 52, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2017.09.005>
28. Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., y Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of strength and conditioning research*, 18(3), 551–555. [https://doi.org/10.1519/15334287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/15334287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
29. Maté-Muñoz, J. L., Domínguez, R., Lougedo, J. H., y Garnacho-Castaño, M. V. (2016). The lactate and ventilatory thresholds in resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(5), 518–524. <https://doi.org/10.1111/cpf.12327>

30. Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., García-Fernández, P., Garnacho-Castaño, M. V., y Domínguez, R. (2017). Muscular fatigue in response to different modalities of CrossFit sessions. *PLoS ONE* 12(7): e0181855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181855>
31. Myer G.D., Kushner A.M., Brent J.L., Schoenfeld B.J., Hugentobler J., Lloyd R.S., Vermeil A., Chu D.A., Harbin J., y McGill S.M. (2014) The back squat: A proposed assessment of functional deficits and technical factors that limit performance. *Strength and Conditioning Journal*, 36(6), 4-27. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000103>
32. Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., y Morán-Navarro, R. (2019). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *European Journal of Sport Science*, 20(1), 115-124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>
33. Pareja-Blanco, F., Alcázar, J., Sánchez-Valdepeñas, J., Cornejo-Daza, P. J., Piqueras-Sanchiz, F., Mora-Vela, R., Sánchez-Moreno, M., Bachero-Mena, B., Ortega-Becerra, M. y Alegra, L. M. (2020). Velocity Loss as a Critical Variable Determining the Adaptations to Strength Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(8), 1752–1762. <https://doi.org/10.1249/mss.00000000000002295>
34. Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J. F., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J., Libardi, C. A., Laurentino, G. C., Neto, G. R., Brandner, C., Martín-Hernández, J., y Loenneke, J. P. (2029). Blood Flow Restriction Exercise Position Stand: Considerations of Methodology, Application and Safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
35. Pearson, S. J., y Hussain, S. R. (2014). A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, 45(2), 187–200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>
36. Petrigna L., Karsten B., Marcolin G., Paoli A., D'Antona G., Palma A., y Bianco A. (2019). A Review of Countermovement and Squat Jump Testing Methods in the Context of Public Health Examination in Adolescence: Reliability and Feasibility of Current Testing Procedures. *Frontiers in Physiology*, 10, 1384. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01384>

37. Pierce, K., Rozenek, R., y Stone, M. H. (1993). Effects of High-Volume Weight Training on Lactate, Heart Rate, and Perceived Exertion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(4), 211-215.
38. Pope, Z. K., Willardson, J. M., y Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and Blood Flow Restriction. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 27(10), 2914–2926. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182874721>
39. Sánchez-Medina, L. y González-Badillo, J. J. (2011). Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1725-1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>
40. San Juan, A. F., López-Samanes, Á., Jodra, P., Valenzuela, P. L., Rueda, J., Veiga-Herreros, P., Pérez-López, A., y Domínguez, R. (2019). Caffeine Supplementation Improves Anaerobic Performance and Neuromuscular Efficiency and Fatigue in Olympic-Level Boxers. *Nutrients*, 11(9), 2120. <https://doi.org/10.3390/nu11092120>
41. Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., y Krieger, J. W. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3508–3523. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002200>
42. Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., y Krieger, J. W. (2016). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(11), 1689–1697. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0543-8>
43. Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., Schnaiter, J. A., Bond-Williams, K. E., Carter, A. S., Ross, C. L., Just, B. L., Henselmans, M. y Krieger, J. W. (2016). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1805–1812. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001272>
44. Sieljacks, P., Knudsen, L., Wernbom, M., y Vissing, K. (2017). Body position influences arterial occlusion pressure: implications for the standardization of pressure during blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 118(2), 303–312. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3770-2>
45. Stricker, P. R., Faigenbaum, A. D., y McCambridge, T. M. (2020). Resistance Training for Children and Adolescents. *Pediatrics*, 145(6), e20201011. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1011>

46. Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., y Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Medicine*, 48(4), 765–785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>
47. Tegtbur, U., Haufe, S., y Busse, M. W. (2020). Application and Effects of Blood Flow Restriction Training. *Unfallchirurg* 123, 170–175. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00774-x>
48. Trowell, D., Vicenzino, B., Saunders, N., Fox, A., y Bonacci, J. (2019). Effect of Strength Training on Biomechanical and Neuromuscular Variables in Distance Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 50(1), 133-150. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01184-9>
49. Twomey, R., Aboodarda, S. J., Kruger, R., Culos-Reed, S. N., Temesi, J., y Millet, G. Y. (2017). Neuromuscular fatigue during exercise: Methodological considerations, etiology and potential role in chronic fatigue. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 47(2), 95–110. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2017.03.002>
50. Westcott, W. L. (2012). Resistance Training is Medicine: Effects of Strength Training on Health. *Current Sports Medicine Reports*, 11(4), 209–216. <https://doi.org/10.1249/jsr.0b013e31825dabb8>
51. Wirtz, N., Wahl, P., Kleinöder, H., y Mester, J. (2014). Lactate Kinetics during Multiple Set Resistance Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13, 73-77.

9. ANEXO 1.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

“Respuestas agudas ante diferentes velocidades de ejecución con vs. sin restricción de flujo sanguíneo en el entrenamiento de fuerza”

D..... mayor de edad, con D.N.I actuando en nombre propio,

DECLARO:

Que he sido informado por el Dr. Fernando Pareja Blanco y Dr. Juan Antonio León Prados sobre las posibles consecuencias de la realización de los tests físicos de sentadilla, tensiomiografía, test de lactato además de los riesgos potenciales y molestias que podrían derivarse de los mismos. Además, acepto los siguientes términos debido a la situación de crisis sanitaria:

1. Comprometerse a no acudir ni tomar parte en los protocolos de entrenamiento del estudio en el caso de que padeciese síntomas que pudieran ser compatibles con el contagio del COVID-19. Ello resultará extensivo, igualmente, a los casos en los que los síntomas fuesen sufridos por terceros con las que la persona participante tenga o haya tenido un contacto del que objetivamente pudiera derivarse un contagio.
2. Que, caso de tener conocimiento de estar afectado por el virus del COVID-19, se compromete a no acudir ni tomar parte en los protocolos de entrenamiento.
3. Conocer, aceptar y asumir que, en el actual estado, existe un objetivo riesgo de contagio de COVID-19 con las consecuencias que de ello se pudieran derivar para su persona en términos de salud.
4. Los sujetos han de responsabilizarse individualmente de portar mascarilla, una bolsa de desinfección que incluya toalla y gel hidro-alcohólico.
5. Aceptar que si se mostrase por su parte una conducta o comportamiento de inobservancia o incumplimiento de las órdenes e instrucciones relativas a las medidas de seguridad para evitar contagios por COVID-19, podrá ser excluido/a del estudio

También me ha informado de mi derecho a rechazar el tratamiento o revocar este consentimiento.

Por lo tanto, CONSIENTO en someterme a los protocolos indicados.

Si mi caso puede ser de utilidad científica y para tal fin se publican artículos científicos, autorizo su publicación siempre y cuando se me garantice el más absoluto respeto a mi intimidad y anonimato.

Firma del sujeto

Firma del responsable del estudio En Sevilla, a 16 de noviembre de 202

