

Valls
Arcas_Nàdia_Adaptaciones
neuromusculares al
entrenamiento de la fuerza en
acortamiento y estiramiento
muscular
por Nàdia Valls Arcas

Fecha de entrega: 16-may-2022 10:54p.m. (UTC+0200)

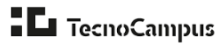
Identificador de la entrega: 1837853604

Nombre del archivo:

10238_Nadia_Valls_Arcas_Valls_Arcas_Nadia_Adaptaciones_neuromusculares_al_entrenamiento_de_la_fuerza_en_acortamiento_y_esti_903670975.docx
(6.32M)

Total de palabras: 9144

Total de caracteres: 49858



Universitat Tecnocampus Mataró-Maresme
Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Adaptaciones neuromusculares al entrenamiento de la fuerza en acortamiento y estiramiento muscular.

Curso académico 2021-2022

Autora: Nàdia Valls Arcas

Director: Dr. Sergi Nuell Turon

Presentado en 16 de mayo de 2022

AGRADECIMIENTOS

A mi director de trabajo de final de grado por compartir sus conocimientos y ser parte imprescindible de mi formación durante estos 5 años. Por guiarme en este proceso y por ser un ejemplo profesional.

A mi familia, especialmente a mi madre, por la paciencia y la comprensión durante este intenso camino y a mi hermano, por ayudarme con todas las fotografías del trabajo.

A mi otra familia, mis amigas y amigos, por cederme su tiempo y por el apoyo mutuo.

A mi pareja, por cerrar juntos esta etapa llena de aprendizaje.

A toda la comunidad científica que permite que tengamos al alcance un abanico de información tan amplio y que nos permite seguir formándonos y divulgar evidencia científica de calidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS | 7 |
| ABREVIATURAS | 8 |
| RESUMEN Y PALABRAS CLAVE | 9 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO | 13 |
| 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS..... | 15 |
| HIPÓTESIS..... | 15 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 15 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS / SECUNDARIOS..... | 15 |
| 4. METODOLOGÍA..... | 16 |
| 4.1 DISEÑO DEL ESTUDIO | 16 |
| 4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 17 |
| 4.3 ASIGNACIÓN DE LOS INDIVIDUOS A LOS GRUPOS DE ESTUDIO | 18 |
| 4.4 VARIABLES DEL ESTUDIO Y PROCEDIMIENTO | 19 |
| 4.4.1 Masa muscular | 19 |
| 4.4.2 Amplitud de movimiento (ROM)..... | 20 |
| 4.4.3 Producción de fuerza..... | 21 |
| 4.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN | 22 |
| 4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 28 |
| 4.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS..... | 28 |
| 5. CRONOGRAMA | 30 |
| 6. PRESUPUESTO | 31 |
| 7. LIMITACIONES Y PROSPECTIVA | 34 |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 35 |

9. ANEXOS 39
Anexo I. Hoja de información al paciente 39
Anexo II. Hoja de consentimiento informado 41

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Resumen del diseño de estudio | 17 |
| Figura 2. Medición del ROM de la prueba de Nachlas..... | 20 |
| Figura 3. Realización de la prueba de Nachlas | 20 |
| Figura 4. Realización de la prueba de Ridge..... | 21 |
| Figura 5. Medición del ROM en la prueba de Ridge..... | 21 |
| Figura 6. Realización de la prueba de EPR | 21 |
| Figura 7. Medición del ROM en la prueba de EPR | 21 |
| Figura 8. Ejecución de extensión de pierna en sedestación con goma..... | 24 |
| Figura 9. Ejecución de sentadilla con gomas..... | 24 |
| Figura 10. Ejecución de flexión de pierna en DP con goma | 25 |
| Figura 11. Ejecución de peso muerto rumano con gomas..... | 25 |
| Figura 12. Ejecución de extensión de pierna en DS en polea | 26 |
| Figura 13. Ejecución de sentadilla | 26 |
| Figura 14. Ejecución de flexión de pierna en sedestación | 27 |
| Figura 15. Ejecución de peso muerto rumano en déficit | 27 |
| | |
| Tabla 1. Ejercicios de los grupos de entrenamiento en acortamiento y estiramiento muscular | 23 |
| Tabla 2. Cronograma del estudio | 30 |
| Tabla 3. Presupuesto del estudio de investigación | 31 |

ABREVIATURAS

BP: Bipedestación

CF: Coxofemoral

DP: Decúbito Prono

DS: Decúbito Supino

ECA: Ensayo Controlado Aleatorizado

EPR: Elevación de la Pierna Recta

RM: Repetición Máxima

ROM: Amplitud De Movimiento

RPE: Índice de Esfuerzo Percibido

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

Introducción y justificación: El entrenamiento de la fuerza juega un papel importante en las adaptaciones musculares crónicas como el desarrollo y la fuerza muscular. El entrenamiento de la flexibilidad trabajado mediante técnicas como el estiramiento muscular aumenta el ROM articular. No obstante, el trabajo de la flexibilidad genera interferencias en las ganancias de fuerza cuando ambas capacidades se entrenan de manera simultánea. Por ello, es necesario encontrar qué variables y en qué medida pueden tenerse en cuenta para reducir dichas interferencias. Una de las variables sobre las cuales se puede profundizar es la posición de acortamiento o estiramiento muscular durante la realización de los ejercicios. Esta investigación busca aportar una mejora en el estudio de esta variable teniendo en cuenta que el momento de fuerza máximo del ejercicio se encuentre dentro del rango articular del ejercicio durante la ejecución.

Objetivo: El objetivo principal de este estudio es comparar las adaptaciones musculares que se producen ante dos protocolos de entrenamiento de la fuerza (acortamiento muscular vs. estiramiento muscular).

Metodología: Se realizará un ensayo controlado aleatorizado (ECA) y se asignará aleatoriamente a los dos grupos de estudio a todos los sujetos que hayan cumplido con los criterios de inclusión. Las variables principales de estudio serán la masa muscular, la amplitud de movimiento o ROM y la producción de fuerza. Las tres variables serán medidas en una valoración inicial y final. La intervención del entrenamiento de la fuerza de ambos grupos comprenderá 4 ejercicios, 2 para cada grupo muscular (cuádriceps e isquiosurales). Ambos grupos realizarán los mismos ejercicios, adaptados en función de si pertenecen al grupo de entrenamiento en acortamiento (Grupo A) o estiramiento (Grupo B) muscular. La duración total de la intervención será de 14 semanas.

Impacto esperado: Se espera observar que hay mayores ganancias de flexibilidad y masa muscular en el entrenamiento en estiramiento muscular y que no hay diferencias significativas en relación a la producción de fuerza entre ambos protocolos.

Conclusiones: En el caso de obtener los resultados esperados, podría utilizarse un entrenamiento en estiramiento muscular en un contexto en el que se busque la mínima pérdida de flexibilidad y un entrenamiento en acortamiento en un contexto en el que la capacidad de flexibilidad no sea importante mantenerla.

Palabras clave: Entrenamiento de fuerza, estiramiento muscular, acortamiento muscular, flexibilidad, ROM.

Introduction and justification: Strength training plays an important role in chronic muscle adaptations such as muscle size and strength. Flexibility training, carried out through techniques such as muscle stretching, increases joint range of motion (ROM). However, flexibility work interferes with strength gains when both are trained simultaneously. It is therefore necessary to find out which variables are important and to what extent they can be taken into account to reduce these interferences. One of the variables that can be explored further is the position of muscle shortening or stretching during exercise. This research seeks to improve the study of this variable by taking into account that the maximum force moment of the exercise is within the articular range of the exercise during execution.

Objective: The main objective of this study is to compare the muscular adaptations produced by two strength training protocols (muscle shortening vs. muscle lengthening).

Methodology: A randomised controlled trial (RCT) will be conducted and all subjects who have met the inclusion criteria will be randomly assigned to the two study groups. The primary study variables will be muscle mass, range of motion or ROM, and force production. All three variables will be measured at baseline and final assessment. The strength training intervention for both groups will comprise 4 exercises, 2 for each muscle group (quadriceps and hamstrings). Both groups will perform the same exercises but adapted according to whether they belong to the muscle shortening (Group A) or stretching (Group B) training group. The total duration of the intervention will be 14 weeks.

Expected impact: It is expected to observe that there are greater gains in flexibility and muscle mass in muscle stretching training and that there are no significant differences in relation to strength production between the two protocols.

Conclusions: In the case of obtaining the expected results, muscle stretching training could be used in a context in which the minimum loss of flexibility is sought and shortening training used in a context in which it is not as important to maintain the same flexibility capacity.

Keywords: Resistance training, muscle stretching, muscle shortening, flexibility, ROM.

1. INTRODUCCIÓN

Las capacidades físicas básicas, definidas como: fuerza, resistencia, velocidad y flexibilidad, son presupuestos motores de base a través de los cuales el ser humano alcanza el máximo desarrollo de sus habilidades (Zatsiorsky, V. M. 2002). Otros autores consideran la fuerza como la única capacidad física básica a partir de la cual derivan las demás (Tous, J. 2007).

El entrenamiento de la fuerza es la principal intervención para el incremento de la masa muscular y el volumen de entrenamiento realizado en un bloque de entrenamiento de la fuerza juega un papel importante en las adaptaciones musculares crónicas como el tamaño y la fuerza muscular (Schoenfeld, B. J. et al. 2019, Lasevicius, T. et al. 2018,). La literatura más reciente sobre el entrenamiento de la fuerza y crecimiento muscular parece coincidir en que es necesario una frecuencia de entrenamiento mínima de 2 veces por semana y alrededor de un 80% de la 1-RM para el aumento del área de la sección transversal muscular (Schoenfeld, B. J. et al. 2017, Lasevicius, T. et al. 2018). Asimismo, existen muchos factores que pueden tenerse en cuenta para la programación del entrenamiento de fuerza, por ejemplo, la amplitud de movimiento (ROM) puede dividirse en: amplitud total, amplitud externa y amplitud interna, y en función de una amplitud u otra, se trabajará la fuerza en rangos articulares distintos (Cos, F. et al. 1998), viéndose el músculo más acortado en el trabajo en amplitud interna, más estirado en el trabajo en amplitud externa y con mayor recorrido en amplitud total. Otro factor que puede analizarse es el momento de fuerza máxima, definido como la posición del rango articular en el que el brazo de palanca externo se encuentra en mayor longitud y que es modificable en el ejercicio mediante distintos materiales (Frost, D.M. et al. 2010).

La flexibilidad, en cambio, se define como la capacidad de realizar movimientos a máxima amplitud. En la literatura científica se describen distintas técnicas de estiramiento eficaces para la mejora del ROM articular y por lo tanto útiles para el entrenamiento de la flexibilidad, así como técnicas estático-activas, estático-pasivas, dinámicas y facilitación neuromuscular propioceptiva (Ayala, F. 2012). Se evidencian mejoras significativas en la combinación de distintos métodos: trabajo de flexibilidad pasiva y activa (Fabricio, C. et al. 2021). También se encuentra que el trabajo con el foam roller es más efectivo que los estiramientos dinámicos y estáticos para incrementar la flexibilidad en musculatura como cuádriceps e isquiosurales sin obstaculizar la fuerza muscular (Chang, N.-J. et al. 2017).

Por otro lado, aunque la flexibilidad pueda ser muy útil para algunas disciplinas deportivas, se han mostrado peores resultados en el trabajo de la fuerza muscular cuando se han entrenado ambas capacidades simultáneamente (Borges, C. L. Et al. 2013). De este modo se puede observar

que se establece una interferencia entre el entrenamiento de una capacidad sobre la otra. Además, en la musculatura flexora y extensora de rodilla, se produce una disminución significativa en el rendimiento de 1RM después de un tratamiento de estiramientos intensos (Kokkonen, J. et al. 1998). Así pues, los datos indican que un programa de estiramientos intensos puede inhibir la fuerza máxima (Kokkonen, J. et al. 1998).

2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Ante la problemática de la consecución de resultados óptimos al realizar un entrenamiento de la fuerza y de flexibilidad en un mismo período de tiempo por los efectos negativos de un entrenamiento sobre el otro, se presenta el interesante reto de encontrar qué variables y en qué medida pueden tenerse en cuenta para disminuir dichas interferencias.

En el entrenamiento de la fuerza algunas de las principales variables que se tienen en cuenta son la intensidad, el volumen o la frecuencia. En cambio, otras variables como el rango de movimiento articular (ROM) del ejercicio no toman la misma importancia para su programación. No obstante, parte de la literatura (Werkhausen, A. et al. 2021) ha investigado las diferencias en la adaptación muscular entre ejercicios de rango completo y de rango parcial articular sin mostrar resultados significativos entre ambos. Por otro lado, un análisis sistemático y meta análisis nos explica que la fuerza e hipertrofia muscular parecen verse favorecidas en el uso de ejercicios de ROM completo en comparación al ROM parcial en extremidades inferiores (Pallarés, J. G. et al. 2012). Parte de la literatura ha diferenciado entre amplitud interna y externa: trabajo desde el estiramiento incompleto a la contracción y trabajo continuado que combina el estiramiento completo y la contracción incompleta, respectivamente (Cos, F. et al. 1998). Aun así, no se ha considerado si en esta división del ROM el momento de fuerza máximo del ejercicio permanece en una amplitud u otra. Dado el caso, existe la posibilidad de que al establecer un rango parcial de movimiento se esté excluyendo el momento de fuerza máximo del ejercicio, llevando a conclusiones sesgadas o poco veraces. También se ha estudiado la relación entre la flexibilidad y el rango completo de ejecución del ejercicio, mostrando resultados positivos (Morton, S. K. et al. 2011). No obstante, en ningún caso se ha establecido una relación entre el momento de fuerza y el rango articular. Esto se traduce en que entre el pico de fuerza del ejercicio y la posición de acortamiento o estiramiento en la que se encuentra el músculo en un determinado momento no se ha establecido ninguna vinculación (Valamatos, M. et al. 2018).

Vista la limitación en la literatura actual, sería interesante investigar si existen diferencias entre trabajos en acortamiento o estiramiento muscular sobre variables como la flexibilidad, la producción de fuerza o la hipertrofia muscular. Para ello, se debe hacer coincidir el momento de fuerza máximo en el acortamiento o estiramiento muscular. De esta manera este trabajo establece un efecto diferencial al resto de investigaciones. Resolver esta problemática podría ayudar a optimizar el entrenamiento y hacer de éste un trabajo más eficiente evitando las interferencias negativas de una capacidad sobre otra.

Así pues, el objetivo de este estudio es averiguar si en un entrenamiento de la fuerza la posición en acortamiento o estiramiento muscular puede determinar adaptaciones musculares distintas en relación a la flexibilidad y a la fuerza, tanto a nivel estructural como neuromuscular.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS

1. No existen diferencias significativas entre el entrenamiento de la fuerza en en acortamiento o estiramiento muscular en referencia a la producción de fuerza muscular.
2. El entrenamiento en estiramiento muscular favorece más el mantenimiento de la flexibilidad que el entrenamiento en acortamiento muscular.
3. El entrenamiento en estiramiento muscular produce mayores ganancias de masa muscular que el entrenamiento en acortamiento muscular.

OBJETIVO GENERAL

1. Analizar las adaptaciones neuromusculares de un programa de entrenamiento de fuerza de 12 semanas realizado en acortamiento vs. estiramiento muscular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS / SECUNDARIOS

1. Analizar las diferencias en la producción de fuerza entre un programa de entrenamiento de la fuerza realizado en acortamiento vs. estiramiento muscular.
2. Analizar las diferencias en la flexibilidad muscular entre un programa de entrenamiento de la fuerza realizado en acortamiento vs. estiramiento muscular.
3. Analizar las diferencias en la hipertrofia/desarrollo muscular entre un programa de entrenamiento de la fuerza realizado en acortamiento vs. estiramiento muscular.

4. METODOLOGÍA

4.1 DISEÑO DEL ESTUDIO

Se realizará un ensayo controlado aleatorizado (ECA) durante 14 semanas para comparar los efectos de dos protocolos de entrenamiento de la fuerza: entrenamiento en acortamiento muscular (Grupo A) y entrenamiento en estiramiento muscular (Grupo B). Se buscará encontrar diferencias entre ambos grupos en relación al ROM, la cantidad de masa muscular y la capacidad de generar fuerza en musculatura principal de tren inferior: cuádriceps e isquiosurales. Se utilizará un diseño de grupos paralelos para que los resultados de una intervención no puedan posteriormente condicionar los resultados del grupo como podría darse en un diseño cruzado. Participarán en la investigación 2 investigadores/as: (1) Una licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y en Fisioterapia que realizará todas las valoraciones iniciales y finales y (2) un licenciado en Ciencias de la Actividad física y del Deporte aplicará las dos propuestas de entrenamiento con ambos grupos en las sesiones de entrenamiento. También formará parte del estudio un/a alumno/a de prácticas que participará en el seguimiento de las sesiones de entrenamiento. El/la alumno/a no conocerá el objetivo del estudio. Cada profesional realizará sólo una de las dos tareas de estudio para facilitar el cegamiento del personal investigador, que será parcial. De este modo el/la investigador/a evaluador/a no conocerá a qué grupo pertenece cada sujeto a la hora de realizar la valoración. El cegamiento de los resultados de la valoración se podrá dar totalmente en el caso de la valoración de la masa muscular ya que dicha medida la realizará un profesional del Hospital de Mataró ajeno a la investigación.

La primera semana se llevarán a cabo dos sesiones de familiarización con el fin de evitar mejoras por aprendizaje. En la primera sesión (lunes) se realizará familiarización con los tests de valoración y en la segunda (miércoles), con los ejercicios del entrenamiento. En esta última, también se realizará el cálculo de fuerza máxima dinámica como variable secundaria para establecer los porcentajes de 1RM adecuados para la programación del entrenamiento de la fuerza utilizado como intervención en ambos grupos del estudio. A finales de esta primera semana (sábado) se realizarán las evaluaciones pre entrenamiento, dejando dos días de descanso entre las sesiones de familiarización y la valoración inicial. A partir de la segunda semana se llevará a cabo el período de entrenamiento, que durará un total de 12 semanas (semana 2 – semana 13). En cada una de estas semanas se realizarán 3 sesiones de entrenamiento (lunes, miércoles y viernes), a excepción de la primera semana de entrenamiento (semana 2 de intervención*) que se entrenará: martes, jueves y viernes. Esta modificación se debe a la necesidad de dejar dos días de descanso entre la valoración inicial y el primer día de

entrenamiento. Al finalizar todas las semanas de aplicación del protocolo de entrenamiento, se dejarán tres días de descanso y el martes de la semana 14 se realizarán las evaluaciones post entrenamiento. En la Figura 1 se pueden observar de manera esquematizada las 14 semanas de intervención, así como la estructura de todas las semanas de intervención.

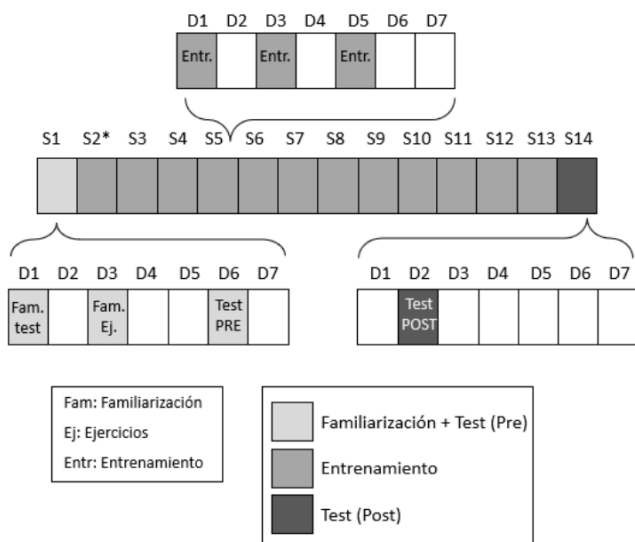


Figura 1. Resumen del diseño de estudio

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Los sujetos serán un total de treinta voluntarios/as (hombres y mujeres) seleccionados/as de población universitaria de Barcelona de las universidades: *Universitat de Barcelona (UB)*, *Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)*, *Universitat Pompeu Fabra (UPF)* y *Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*. El tamaño de la muestra del estudio se justifica con el tamaño del efecto objetivo utilizado en investigaciones anteriores relacionadas (Valamatos, M. et al. 2018, Werkhausen, A. et al. 2021). Los/las participantes adicionales han sido añadidos por la posibilidad de abandono del estudio por parte de algunos sujetos. El estudio deberá ser aprobado por el Comité de Ética del Consell Català de l'Esport (Generalitat de Catalunya) y

deberá cumplir con la Declaración de Helsinki relativa a los estándares de ética en estudios con humanos.

Los sujetos deberán cumplir con los siguientes criterios de inclusión:

- 1) hombres o mujeres entre 18 y 30 años.
- 2) no tener ninguna patología musculoesquelética.
- 3) no haber sufrido ninguna lesión musculoesquelética el año previo al estudio.
- 4) tener una mínima experiencia de 1 año en el entrenamiento de la fuerza, definido como un mínimo de 2 sesiones de entrenamiento por semana durante este mismo período.
- 5) no realizar ningún otro tipo de entrenamiento ni actividad física programada durante la realización del estudio.
- 6) Residir en la provincia de Barcelona.

4.3 ASIGNACIÓN DE LOS INDIVIDUOS A LOS GRUPOS DE ESTUDIO

Los sujetos serán aleatoriamente asignados a uno de los 2 grupos experimentales: programa de entrenamiento de la fuerza basado en ejercicios en acortamiento muscular ($n = 15$) y programa de entrenamiento de la fuerza basado en ejercicios en estiramiento muscular ($n = 15$). Los sujetos serán informados del grupo al que pertenecerán mediante un informe en un sobre opaco cerrado. No se comunicará a los sujetos la diferenciación de ambos programas de entrenamiento ni el objetivo de estudio; únicamente se describirán detalladamente los ejercicios a realizar por cada grupo previamente al primer día de entrenamiento mediante una hoja descriptiva y se hará un seguimiento para comprobar que los ejercicios se están realizando adecuadamente. Sólo un/a investigador realizará el seguimiento de las sesiones (el/la investigador/a que no realice las valoraciones). No obstante, la comunicación e interacción (verbal y no verbal) entre el profesional y los sujetos será la mínima posible para evitar la influencia en los resultados. Los/las estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte que ayudarán al seguimiento tampoco conocerán el objetivo de estudio. Sólo conocerán los ejercicios a realizar por cada grupo para poder hacer las correcciones técnicas. Los sujetos no recibirán ninguna información sobre los efectos que se buscan con cada uno de los ejercicios ni cualquier comentario que no sea meramente informativo para cumplir con la correcta técnica de ejecución. Por lo tanto, el cegamiento en los sujetos participantes no se puede llevar a cabo

de manera total al tratarse de una intervención que requiere el rol activo del/de la participante, pero se tomarán todas las anteriores medidas para evitar cualquier posible sesgo en el estudio.

4.4 VARIABLES DEL ESTUDIO Y PROCEDIMIENTO

En base a criterios iniciales establecidos, el programa de entrenamiento de la fuerza para cada uno de los grupos constará de 3 sesiones semanales por grupo muscular en días no consecutivos durante un período de 12 semanas, siendo un total de 36 sesiones. Cada sesión estará compuesta por el conjunto de 4 ejercicios analíticos y globales de los grupos musculares de cuádriceps e isquiosurales (2 ejercicios por cada grupo muscular). Cada ejercicio será realizado a una intensidad del 75% 1-RM y un Índice de Esfuerzo Percibido (RPE) alto-máximo, con un total de 4 series de 8-10 repeticiones por ejercicio y sesión.

La valoración de las 3 principales variables se llevará a cabo una semana previa al inicio del programa de entrenamiento. Se realizarán las 3 valoraciones el mismo día en cada sujeto y se realizarán en ambas piernas. El/la profesional encargado/a de la valoración conocerá el procedimiento de cada prueba de evaluación para poder realizarla correctamente y el uso de las herramientas necesarias. Se mostrarán a continuación las variables en el orden de valoración que se seguirá para evitar interferencias significativas y consecuentemente influencias en los resultados. Las variables de estudio son las siguientes y se evaluarán tanto en la valoración inicial (previa al inicio de la intervención) como en la valoración final (posterior a las 12 semanas de intervención):

4.4.1 Masa muscular

La evaluación de la masa muscular se llevará a cabo a través de una toma de imagen mediante la absorciometría dual de rayos X (DXA), siendo actualmente el método de referencia en el estudio de la composición corporal en investigaciones clínicas debido a sus ventajas: permite diferenciar los tejidos blandos en masa grasa y masa magra, se trata de una técnica no invasiva, es fácilmente aplicable, se emite una radiación muy pequeña ($<0,1 \mu\text{Gy}$), y presenta menor coste con respecto a los métodos considerados gold standard como son la RMN y la TAC (Moreira, O. C. 2015). La DXA se realizará en el Hospital de Mataró ya que se establecerá un convenio para la realización del estudio. Se realizará una valoración inicial y final y se observarán las diferencias en el tamaño muscular tanto en cuádriceps como en isquiosurales.

4.4.2 Amplitud de movimiento (ROM)

El ROM o flexibilidad se realizará a través de 2 mediciones con un goniómetro, una para cada grupo muscular. Se realizará la medición a través de un movimiento pasivo, en el cual el sujeto estudiado no hace ninguna contribución o contracción activa, sino que es el/la evaluador/a quien lleva la articulación a su máximo recorrido, hasta llegar al límite donde se observa resistencia al desplazamiento (Alter, 2004). Cada test se realizará un total de 2 veces en ambas valoraciones y se contarán como válidos los resultados de los test con mayor puntuación. La valoración del ROM se realizará en el laboratorio de valoración funcional de la ESCS¹ de Tecnocampus Mataró-Maresme.

4.4.2.1 Medición cuádriceps

El cuádriceps será medido con la prueba de Nachlas (Daza, 1996) y, en el caso de que la rodilla llegue a su máxima flexión, se realizará la prueba de Ridge (Ridge, 1985). Se medirá el ROM de la articulación de rodilla y de cadera del sujeto mediante el uso del goniómetro mientras se realiza la prueba. El sujeto se situará en decúbito prono (DP) en una camilla. El/la profesional evaluador/a llevará de manera pasiva la pierna hasta la máxima flexión de rodilla siguiendo la prueba de Nachlas y, en el caso de alcanzar el máximo ROM, se continuará con la prueba de Ridge realizando pasivamente la extensión de cadera hasta el punto previo a que la columna lumbar comience a extenderse o la cadera comience a elevarse. El goniómetro se colocará inicialmente en el eje de rotación de la articulación femorotibial con uno de sus brazos paralelo a la camilla en dirección a la articulación coxofemoral (CF) y el otro siguiendo la dirección de la pierna hacia el maléolo peroneo. En el caso de tenerse que realizar también la prueba de Ridge, se mantendrá la flexión de rodilla obtenida y se colocará el goniómetro en la articulación CF para realizar la extensión de cadera. El goniómetro se situará en el eje de rotación de la articulación CF con un brazo paralelo a la camilla y el otro en dirección al eje de rotación de la FT.



Figura 2. Realización de la prueba de Nachlas



Figura 3. Medición del ROM de la prueba de Nachlas

¹ Escola Superior de Ciències de la Salut



Figura 5. Realización de la prueba de Ridge



Figura 4. Medición del ROM en la prueba de Ridge

4.4.2.2 Medición isquiosurales

Para la valoración de la flexibilidad de los isquiosurales se utilizará la Prueba de elevación de la pierna recta (EPR) o Straight Leg Raising (Ayala, F. et al. 2013, Quintana, E. et al. 2008) que medirá el ROM de la articulación CF con un goniómetro. Éste se colocará en el eje de giro de la cabeza femoral con uno de sus brazos paralelo a la camilla y el otro siguiendo la dirección del eje de la pierna hacia el maléolo peroneo. El sujeto se situará en decúbito supino (DS) sobre una camilla y el/la realizador/a del test llevará la pierna del paciente de manera pasiva hacia la flexión de cadera hasta el momento previo en que la pelvis bascule hacia la retroversión. El sujeto deberá mantener la rodilla extendida completamente y el pie relajado para evitar la contracción de otros grupos musculares.



Figura 6. Realización de la prueba de EPR



Figura 7. Medición del ROM en la prueba de EPR

4.4.3 Producción de fuerza

Para evaluar la capacidad de fuerza máxima se realizará un test de fuerza de contracción isométrica voluntaria máxima para cuádriceps y otro para isquiosurales. Para la obtención de

datos se utilizará una galga extensiométrica y un banco adaptado. Para la prueba de extensión de rodilla el sujeto se colocará en DS con el ángulo de la rodilla a 90º y el de la cadera a 180º. Para la prueba de la flexión de rodilla el sujeto se situará en DP con el ángulo de la rodilla a 135º y el de la cadera a 180º. En ambas posiciones los sujetos se fijarán mediante correas ajustables y la galga extensiométrica se colocará a nivel del maléolo tibial formando un ángulo perpendicular con la pierna, del mismo modo que se realizó en otro estudio con esta misma valoración analítica (Illera, V. et al. 2018). Cada test se realizará un total de 3 veces con una duración de 5 segundos en ambas valoraciones, contando como válido el resultado del test con mayor puntuación. Habrá un descanso mínimo de 30 segundos y máximo de un minuto entre los 3 intentos.

4.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Las dos propuestas de entrenamiento de la fuerza se basarán en una fase de hipertrofia y por ello las variables de carga irán enfocadas a sus bases teóricas (Schoenfeld, B. J, 2010). Los grupos musculares que se trabajarán en ambas propuestas son: cuádriceps e isquiosurales. El programa de entrenamiento durará 12 semanas contando con una frecuencia semanal de 3 sesiones, con un total de 36 sesiones. Se establecerá un convenio con el gimnasio DIR Paradise Mataró y los sujetos juntamente con uno/a de los/las investigadores/as realizarán el entrenamiento allí.

La intensidad se basará en un 75% de 1-RM y un RPE alto-máximo. Se realizará un total de 4 series y un rango de 8-10 repeticiones por cada ejercicio y sesión. La velocidad de ejecución deberá ser máxima durante la fase concéntrica y controlada durante la fase excéntrica, ésta última con una duración de 3 segundos. El descanso será de 2 minutos entre series. Se realizará un total de 2 ejercicios por grupo muscular y sesión, combinando de manera intercalada el orden de trabajo de cada grupo muscular y, por lo tanto, iniciando el entrenamiento cada día con un grupo muscular distinto. El conjunto de ejercicios está formado por un ejercicio analítico y un ejercicio global para poder presentar una propuesta de entrenamiento aplicable a la realidad del entrenamiento. En primer lugar, se realizará siempre el ejercicio analítico ya que metodológicamente es el más adecuado según el objetivo del estudio y para evitar que el ejercicio global genere mucha fatiga e influya al ejercicio analítico.

Una semana previa al inicio de las sesiones de entrenamiento, se realizará una sesión de familiarización con los ejercicios y, en esta misma sesión, se hará el cálculo de 1RM para cada ejercicio con el fin de adecuar el porcentaje de carga y conseguir la misma intensidad relativa para cada sujeto. Para ello, se entregará una hoja descriptiva a cada sujeto para conocer y entender la correcta realización de cada ejercicio y se realizarán 4 series de 8-10 repeticiones,

de menor a mayor intensidad de carga. La primera serie de los ejercicios más analíticos se realizarán en la máquina guiada sin peso añadido y los ejercicios con peso libre se realizarán con una barra olímpica sin discos. Se colocarán las gomas en los ejercicios que lo requieran. La segunda serie se realizará a una intensidad baja, pero con peso añadido y la tercera serie se realizará a mayor intensidad subiendo la carga todavía más. La cuarta y última serie se realizará a alta intensidad y se ejecutarán las repeticiones necesarias para llegar al fallo. De este modo se realizará por cada participante, cada grupo muscular y cada ejercicio el cálculo indirecto de 1RM: $(\text{Peso} / 1,0278 - 0,0278 \times \text{Reps})$ (Brzycki, M. 1993). En los ejercicios que requieran el uso de gomas, se tendrá en cuenta la tensión de ésta en función de la distancia de estiramiento y se individualizará para cada participante. Siguiendo el principio de variación del esfuerzo (Buskies, W. 2005) cada 3 semanas (9 sesiones) se realizará una progresión sistemática en el esfuerzo del entrenamiento para que los músculos no se adapten a éste. Se realizará un aumento de entre un 4-8% en el peso de los ejercicios siempre y cuando el sujeto mantenga el resto de variables de entrenamiento sin modificar.

Se llevarán a cabo un total de 36 sesiones y todas ellas serán supervisadas por uno de los/las investigadores/as del estudio y por un alumno/a de prácticas voluntario/a. Las sesiones de entrenamiento estarán compuestas por unas series de calentamiento y por las series efectivas del programa de entrenamiento. El calentamiento a realizar en cada sesión estará compuesto por una carga ligera continuada en los mismos ejercicios de la parte principal de la sesión. Cada grupo realizará una serie de 15 repeticiones al 30% de 1RM, otra serie de 10 repeticiones al 50% y una serie de 5 repeticiones al 60% de los dos ejercicios de su sesión, previamente a cada ejercicio. De esta manera se conseguirá realizar con menor carga el mismo ROM que en los ejercicios del programa de entrenamiento sin necesidad de realizar un calentamiento mediante movimientos articulares o estiramientos dinámicos que podrían desviar los resultados del estudio. No se realizará la vuelta a la calma para no influir en el trabajo muscular previo y porque el entrenamiento programado no aumentará de manera significativa la frecuencia cardiaca ni respiratoria. En la Tabla 1 se presentan los ejercicios de cada protocolo de entrenamiento.

Tabla 1. Ejercicios de los grupos de entrenamiento en acortamiento y estiramiento muscular

| |
|--|
| ACORTAMIENTO MUSCULAR (GRUPO A) |
| CUÁDRICEPS |
| Extensión de pierna en sedestación con goma |

El sujeto se situará en la máquina *Leg Extension MED* (TechnoGym, Spain) con una goma que rodeará el soporte a empujar enganchada en la parte inferior y posterior de la máquina. El movimiento será desde una flexión de rodilla de 90° hasta una extensión máxima.



Figura 8. Ejecución de extensión de pierna en sedestación con goma

Sentadilla con gomas

El sujeto se colocará en bipedestación (BP) de espaldas a la estructura del Squat Rack (Technogym, Spain). Con una barra olímpica en la espalda alta el sujeto flexionará la cadera y rodillas hasta que su fémur quede casi paralelo al suelo (con una flexión de rodilla de 90°) y volverá a subir hasta la posición de bipedestación. Cada extremo de la barra irá rodeado con gomas perpendiculares al suelo y enganchadas directamente a este con mosquetones. Otras dos gomas rodearan la articulación de la cadera y las rodillas, haciendo tensión hacia posterior y hacia anterior, respectivamente.



Figura 9. Ejecución de sentadilla con gomas

ISQUIOSURALES

Flexión de pierna en DP con goma

El sujeto se situará en DP la máquina Selection 900 Prone Leg curl (Technogym, Spain) para pasar de una extensión de rodilla completa a una flexión de 90°. Se colocará una goma rodeando el soporte que se empuja con la parte distal de las piernas y de fijar al suelo con mosquetones.

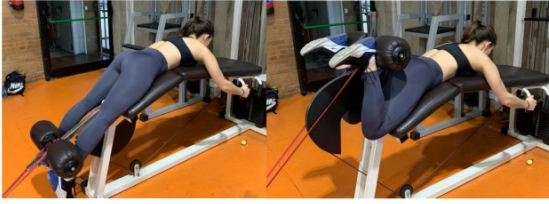


Figura 10. Ejecución de flexión de pierna en DP con goma

Peso muerto rumano con gomas

Se realizará el recorrido semi completo del peso muerto rumano cogiendo una barra olímpica con agarre mixto y con el uso de una jaula de potencia o power rack funcional (Aerobic Fitness) como punto fijador. El sujeto se colocará de espaldas una barra vertical de la jaula y se colocará una goma atada en un punto fijo posterior al sujeto hasta rodear su cadera. Se colocará otra goma que el sujeto pisará para fijarla en el suelo y pasará por ambos laterales de la barra. Desde una posición de flexión de cadera que permita mantener la barra a la altura aproximada de las rodillas el sujeto realizará extensión de rodilla y cadera hasta la posición de BP y con ambas articulaciones en extensión.



Figura 11. Ejecución de peso muerto rumano con gomas

ESTIRAMIENTO MUSCULAR (GRUPO B)

CUÁDRICEPS

Extensión de pierna en DS en polea

El sujeto se situará estirado en un banco en DS con una polea baja de Titanium Strength situada en la cabeza, pasando por debajo del banco hasta atarse en el tobillo. El movimiento se realizará desde una flexión de rodilla mayor de 90° (lo que banco permita) hasta una extensión máxima.



Figura 12. Ejecución de extensión de pierna en DS en polea

Sentadilla

En bipedestación, el sujeto se colocará en el Squat Rack (Technogym, Spain) Con una barra en la espalda alta deberá bajar hasta que su fémur sobre pase la posición perpendicular al suelo y volverá a subir hasta la posición de BP sin llegar a la máxima extensión de cadera y rodillas (rango de recorrido de 20- 110° aproximados). Se realizará este rango parcial para no llegar al máximo acortamiento del cuádriceps.



Figura 13. Ejecución de sentadilla

ISQUIOSURALES

Flexión de pierna en sedestación

El sujeto se situará en sedestación en la máquina *Selection 900 Leg curl* (Technogym, Spain) y realizará el movimiento desde la extensión completa hasta la máxima flexión.



Figura 14. Ejecución de flexión de pierna en sedestación

Peso muerto rumano en déficit

El sujeto realizará el peso muerto rumano en déficit, cogiendo una barra olímpica con agarre mixto y colocándose sobre una altura de unos 10 cm utilizando, por ejemplo, dos discos. El sujeto deberá bajar la barra hasta la máxima elongación posible de los isquiosurales y volver a llevar la cadera hacia la extensión sin llegar a su máximo, manteniéndose en una flexión de unos 20° de la articulación CF.



Figura 15. Ejecución de peso muerto rumano en déficit

4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables independientes de esta investigación serán los dos programas de entrenamiento: en acortamiento y en estiramiento muscular. Estas variables independientes influirán y modificarán las variables dependientes que, en este caso serán: la masa muscular, el ROM y la producción de fuerza. Cabe decir que, la producción de fuerza, será utilizada como variable tanto independiente como dependiente. Se tratará de una variable independiente en su uso inicial para el cálculo indirecto de 1RM que servirá para definir los porcentajes de intensidad de cada sujeto en cada programa de entrenamiento, pero por otro lado será evaluada como una variable dependiente ya que, una vez determinados los programas de entrenamiento, éstos se aplicarán para ver sus efectos en la producción de fuerza mediante un test isométrico y una fórmula de cálculo indirecto de 1RM. Se realizará un análisis descriptivo de las principales variables. Las variables categóricas se presentarán como número absoluto y porcentaje relativo mientras que las variables cuantitativas se presentarán como media y como desviación estándar o mediana y rango intercuartil.

Los datos se presentarán como *promedios ± desviaciones estándar (SD)*. La normalidad de la muestra será comprobada utilizando el Kolmogorov-Smirnov test para muestras iguales o superiores a 30 sujetos. Para la evaluación de la efectividad de la intervención sobre las diferentes variables de estudio, se utilizará un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías (2x2). Los dos factores considerados son la condición experimental (Acortamiento vs. Est) i el tiempo (PRE vs. POST). Si se encuentran interacciones significativas, se utilizará la corrección *post hoc* de Bonferroni para su interpretación. Para una mejor evaluación de la magnitud de los cambios se calcularán los Tamaños del Efecto (ES) i los intervalos de confianza (CI) al 90% en cada una de las interacciones utilizando una calculadora de ES (Lenhard, W. 2014) tal como propone Ellis (Ellis, P. D. 2012). Los umbrales para estos ES son: 0.2, trivial; 0.6, pequeño; 1.2, moderado; 2.0, grande; 4.0, muy grande tal como recomienda Hopkins (Hopkins, WG. et al. 2009). El nivel de significación será establecido en $P < 0.05$. Los investigadores realizaron todo el análisis estadístico cegados. El análisis estadístico se realizará utilizando el software SPSS v.23.0.0.0 (IBM, Armonk, New York).

4.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS

El estudio deberá ser aprobado por el Comité de Ética del Consell Català de l'Esport (Generalitat de Catalunya) previo a su realización. Todos los sujetos serán informados de forma oral y por escrito sobre el procedimiento del estudio. Se presentará a los sujetos una hoja de información

y un consentimiento informado, atendiendo que los sujetos deberán estar de acuerdo con la propuesta y mostrar su participación voluntaria habiendo conocido las condiciones del estudio. Durante el desarrollo del presente proyecto se respetarán en todo momento los principios éticos de la Declaración de Helsinki (WMA, 2013), permitiendo que en cualquier momento los participantes poder abandonar voluntariamente el estudio de forma libre, sin que eso suponga ningún perjuicio o cambio en el tratamiento habitualmente recibido. El proyecto respetará el Código Deontológico de la Profesión de Educación Física y Deportiva.

En el presente estudio se mantendrá la confidencialidad de los datos personales de los participantes, de acuerdo con la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).

Los datos recogidos serán seudonimizados y todos los documentos de carácter personal se almacenarán únicamente en carpetas de Google Drive de cuentas de usuario de Tecnocampus y sólo podrá tener acceso el/la investigador/a principal del estudio. El correo que se facilitará a los/las participantes del estudio en caso de solicitud del ejercicio de derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición será el siguiente: nvalls@edu.tecnocampus.cat. Se cumplirá con el secreto empresarial en referencia a cualquier información o conocimiento, reuniendo los requisitos exigidos por la Ley 1/2019, de 20 de febrero, de secretos empresariales. También se tendrá en consideración lo establecido en la Ley 3/1991, de 10 de enero, de competencia desleal, y preceptos del Código Penal.

6. PRESUPUESTO

Para la elaboración del presupuesto del estudio de investigación se debe tener en cuenta que se establecerá un acuerdo con otros centros de salud y deportivos. Para la utilización de la maquinaria DXA se realizará un acuerdo con el Hospital de Mataró para poder llevar a cabo la valoración de la masa muscular. Se permitirá realizar la valoración los días acordados bajo supervisión de personal autorizado. Se realizará un acuerdo con el DiR Paradise Mataró que permitirá el uso del espacio, máquinas y material necesario para el estudio durante la intervención. Por último, se realizará un acuerdo con l'ESCS de Tecnocampus Mataró-Maresme para poder hacer uso del laboratorio y de las herramientas disponibles y poder realizar los test de valoración de: amplitud de movimiento y de la producción de fuerza muscular. Esta misma institución cederá la licencia del Software estadístico (Software SPSS v.23.0.0.0 (IBM, Armonk, New York) para poder realizar todas las fases del procesamiento e interpretación de la información del estudio.

Tabla 3. Presupuesto del estudio de investigación

| CONCEPTO | P (€)* | Q (u) | JUSTIFICACIÓN Y WEB (si procede) | TOTAL (€)* |
|--|--------|-------|---|------------|
| Ordenador | 0 | 1 | Planificación del proyecto y procesamiento e interpretación de la información | 0 |
| Software SPSS v.23.0.0.0 (IBM, Armonk, New York) | 0 | 1 | Procesamiento e interpretación de la información | 0 |
| Goniómetro | 0 | 1 | Valoración del ROM | 0 |
| Galga extensionométrica | 0 | 1 | Valoración de la producción de fuerza | 0 |
| DXA | 0 | 1 | Valoración de la masa muscular | 0 |
| Leg Extension MED (Technogym) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |

| | | | | |
|--|------|--------------|---|-----|
| Selection 900 Prone Leg curl (Technogym) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |
| Selection 900 Leg curl (Technogym) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |
| Polea baja (Titanium Strength) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |
| Squat rack (Technogym) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |
| Power rack funcional (Aerobic Fitness) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |
| Barra olímpica (Rogue Fitness) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |
| Disco olímpico (Rogue Fitness) | 0 | 1 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento | 0 |
| Bandas de Resistencia (Akon Fitness) | 5,95 | 120 | Ejercicio del protocolo de entrenamiento https://www.akonfitness.com/power-bands/?attribute_pa_intensidad=muy-baja-roja-1-3-cms&gclid=CJ0KCCQjwyYKUBhDJARIsAMj9lkGxSgU48kP9UWxSHtQ2CtEccsYYTYn310V0asm3fURuJnZJXIWPslaAk1IEALw_wcB | 714 |
| Alquiler gimnasio | 0 | 14 semanas** | Espacio para realizar los entrenamientos | 0 |
| Alquiler laboratorio | 0 | 10 días | Espacio para realizar los test de valoración del ROM y producción de fuerza muscular. | 0 |

| | | | | |
|-------------------------------|---------|---|---------------------------------------|-------|
| Salario personal investigador | 30/h*** | 2 | Personal al cargo de la investigación | 5.040 |
| TOTAL (€) | | | | 5.754 |

*En la mayoría de conceptos el precio y el total son 0, ya que al establecer un acuerdo con el Hospital de Mataró, l'ESCS de Tecnocampus Mataró-Maresme y el gimnasio Dir Paradise, dichos conceptos no tendrán ningún coste.

**Sólo lunes, miércoles y viernes.

***El precio es para 12h/semana, 14 semanas.

7. LIMITACIONES Y PROSPECTIVA

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben darse a conocer. En primer lugar, al tratarse de un estudio que requiere la participación activa por parte de los sujetos, no puede hacerse un cegamiento total de los participantes. Esto hace que, aunque no se detalle a cada sujeto el objetivo de estudio, por su experiencia en el entrenamiento de la fuerza puedan orientar hacia dónde se dirige. Otra limitación en el estudio es el montaje previo a la realización de algunos ejercicios. Su preparación requiere tiempo y ayuda y esto puede dificultar el ritmo de la sesión de entrenamiento, alargándola y haciéndola pesada para el/la participante. También se ha presentado como una limitación al estudio la cantidad de ejercicios posibles a realizar. Para equiparar correctamente a ambos grupos de estudio se han programado los mismos ejercicios con pequeñas adaptaciones para cada uno. La limitación se presenta en el momento de encontrar ejercicios complejos o biarticulares que puedan cumplir con el objetivo ya que generalmente trabajarán en estiramiento. Además, en este tipo de ejercicios hay una gran activación por parte de la musculatura sinergista, que se presenta también como una limitación al estudio. Por este motivo en cada grupo de estudio y para cada grupo muscular se ha realizado únicamente un ejercicio analítico y otro global.

En cuanto a la prospectiva de investigación, se puede continuar investigando en esta misma dirección con otros grupos musculares de tren superior para ver si se producen en éstos las mismas adaptaciones que en tren inferior. Otra línea de investigación muy interesante sería realizar dos protocolos distintos de trabajo de la flexibilidad realizando la misma valoración que en esta investigación. De ese modo podrían estudiarse diferentes maneras de trabajar la flexibilidad y su influencia en la fuerza muscular y la masa muscular. Por último, si se realizase un estudio con más de dos grupos, podrían establecerse muchas más intervenciones, combinando en el mismo estudio el trabajo simultáneo de la fuerza y la flexibilidad.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alter, M.J. (2004). *Los estiramientos*. Desarrollo de ejercicios. Paidotribo.
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., & Cejudo, A. (2012). El entrenamiento de la flexibilidad: técnicas de estiramiento. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 5(3), 105–112. doi:10.1016/s1888-7546(12)70016-3
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., Cejudo, A., & Santonja, F. (2013). Pruebas angulares de estimación de la flexibilidad isquiosural: descripción de los procedimientos exploratorios y valores de referencia. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 6(3), 120–128. doi:10.1016/s1888-7546(13)70046-7
- Borges Bastos, C. L., Miranda, H., Vale, R. G. de S., Portal, M. de N., Gomes, M. T., Novaes, J. da S., & Winchester, J. B. (2013). Chronic effect of static stretching on strength performance and basal serum IGF-1 levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2465–2472. doi:10.1519/JSC.0b013e31828054b7
- Brzycki, M. (1993). Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 64(1), 88–90. doi:10.1080/07303084.1993.10606684
- Buskies, W. (2005). *Entrenamiento de la fuerza*. Paidotribo Editorial
- Cos F, Porta J. Amplitudes de movimiento óptimo en el entrenamiento de fuerza. RED 1998;tomo XII,3:5-10.
- Daza Lesmes, J. (1996). *Test de movilidad articular y examen muscular de las extremidades*, Ed. Médica Panamericana.
- Ellis, P. D. (2012). The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results. doi:10.1017/cbo9780511761676
- Fabricio CofreTaípe, C., Paúl Sosa Gutiérrez, G., & Guallasamin Díaz, F. (2021). Efectividad de la flexibilidad activa y pasiva en el entrenamiento de gimnasia rítmica. / Effectiveness of active and passive flexibility in rhythmic gymnastics training. *PODIUM- Revista de Ciencia y Tecnología En La Cultura Física*, 16(3), 871–880
- Frost, D. M., Cronin, J., & Newton, R. U. (2010). A biomechanical evaluation of resistance: fundamental concepts for training and sports performance: Fundamental concepts for training

and sports performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(4), 303–326. doi:10.2165/11319420-000000000-00000

Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278

Illera-Domínguez, V., Nuell, S., Carmona, G., Padullés, J. M., Padullés, X., Lloret, M., ... Cadefau, J. A. (2018). Early functional and morphological muscle adaptations during short-term inertial-squat training. *Frontiers in Physiology*, 9, 1265. doi:10.3389/fphys.2018.01265

Kokkonen, J., Nelson, A. G., & Cornwell, A. (1998). Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(4), 411–415. doi:10.1080/02701367.1998.10607716

Lasevicius, T., Ugrinowitsch, C., Schoenfeld, B. J., Roschel, H., Tavares, L. D., De Souza, E. O., ... Tricoli, V. (2018). Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *European Journal of Sport Science: EISS: Official Journal of the European College of Sport Science*, 18(6), 772–780. doi:10.1080/17461391.2018.1450898

Lenhard, W. (n.d.). Computation of different effect sizes like d, f, r and transformation of different effect sizes: *Psychometrica*. Retrieved May 16, 2022, from *Psychometrica.de* website: https://www.psychometrica.de/effect_size.html

Moreira, O. C., Alonso Aubin, D. A., de Oliveira, C. E. P., & Luján, R. C. (2015). Métodos de evaluación de la composición corporal: una revisión actualizada de descripción, aplicación, ventajas y desventajas. *Archivos de medicina del deporte*, 32(170), 387–394. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5317876>

Morton, S. K., Whitehead, J. R., Brinkert, R. H., & Caine, D. J. (2011). Resistance training vs. static stretching: effects on flexibility and strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3391–3398. doi:10.1519/JSC.0b013e31821624aa

Pallarés, J. G., Hernández-Belmonte, A., Martínez-Cava, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., & Courel-Ibáñez, J. (2021). Effects of range of motion on resistance training adaptations: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(10), 1866–1881. doi:10.1111/sms.14006

Quintana Aparicio, E., & Albuquerque Sendín, F. (2008). Evidencia científica de los métodos de evaluación de la elasticidad de la musculatura isquiosural. *Osteopatía científica*, 3(3), 115–124. doi:10.1016/s1886-9297(08)75760-6

Ridge, IL. (1985). *Manual of Orthopaedic Surgery*. American Orthopaedic Association, Chicago.

Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872. doi:10.1519/JSC.0b013e3181e840f3

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1073–1082. doi:10.1080/02640414.2016.1210197

Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance training volume enhances muscle hypertrophy but not strength in trained men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(1), 94–103. doi:10.1249/mss.0000000000001764

Su, H., Chang, N.-J., Wu, W.-L., Guo, L.-Y., & Chu, I.-H. (2017). Acute effects of foam rolling, static stretching, and dynamic stretching during warm-ups on muscular flexibility and strength in young adults. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(6), 469–477. doi:10.1123/jsr.2016-0102

Tous, J. (2007). Entrenamiento de la fuerza en los deportes colectivos. *Máster profesional en alto rendimiento en deportes de equipo*. Mastercede. Barcelona.

Valamatos, M. J., Tavares, F., Santos, R. M., Veloso, A. P., & Mil-Homens, P. (2018). Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *European Journal of Applied Physiology*, 118(9), 1969–1983. doi:10.1007/s00421-018-3932-x

Verjoshanski, I. V. (1990). *Entrenamiento deportivo: planificación y programación*. Martínez Roca.

Werkhausen, A., E Solberg, C., Paulsen, G., Bojsen-Møller, J., & Seynnes, O. R. (2021). Adaptations to explosive resistance training with partial range of motion are not inferior to full range of motion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(5), 1026–1035. doi:10.1111/sms.13921

Zatsiorsky, V. M. (2002). *Kinetics of human motion*. Champaign, IL: Human Kinetics.

9. ANEXOS

Anexo I. Hoja de información al paciente

El/la estudiante Nàdia Valls Arcas del grado de Fisioterapia, dirigido/a por Sergi Nuell Turon, está llevando a cabo el proyecto de investigación: Adaptaciones neuromusculares al entrenamiento de la fuerza en acortamiento y estiramiento muscular.

El proyecto tiene como finalidad evaluar si dos protocolos de entrenamiento de la fuerza en acortamiento y estiramiento muscular producen adaptaciones neuromusculares distintas. En primer lugar, se realizará un ensayo controlado aleatorizado en el que se asignará a los participantes uno de los dos protocolos de entrenamiento de la fuerza. En el proyecto participan los siguientes centros de investigación: Hospital de Mataró, DiR Paradise Mataró e Institución universitaria Tecnocampus Mataró-Maresme. En el contexto de esta investigación, le pedimos su colaboración para formar parte de uno de los dos protocolos de entrenamiento para poder encontrar si existen resultados significativos entre los dos protocolos propuestos, ya que usted cumple los siguientes criterios de inclusión: 1) hombres o mujeres entre 18 y 30 años. 2) no tener ninguna patología musculoesquelética. 3) no haber sufrido ninguna lesión musculoesquelética el año previo al estudio. 4) tener una mínima experiencia de 1 año en el entrenamiento de la fuerza, definido como un mínimo de 2 sesiones de entrenamiento por semana durante este mismo período. 5) no realizar ningún otro tipo de entrenamiento ni actividad física programada durante la realización del estudio. 6) Residir en el Maresme o en sus proximidades.

Esta colaboración implica participar en uno de los dos protocolos de entrenamiento de la fuerza y realizar las siguientes fases: 1) familiarización con los tests y ejercicios y valoración inicial del área transversal de la masa muscular, de la flexibilidad y de la fuerza muscular. 2) Programa de entrenamiento de la fuerza compuesto por 4 ejercicios: 2 ejercicios para cuádriceps y 2 para isquiosurales. 3) Valoración final (mismo procedimiento que en la valoración inicial).

Se asignará a todos/as los/las participantes un código, por lo que es imposible identificar al participante con las respuestas dadas, garantizando totalmente la confidencialidad. Los datos que se obtengan de su participación no se utilizarán con ningún otro fin distinto del explicitado en esta investigación y pasarán a formar parte de un fichero de datos, del que será máximo/a responsable el/la investigador/a principal. Dichos datos quedarían protegidos mediante una hoja de datos Excel codificada según lo asignado, y únicamente el/la investigador/a principal del estudio tendrá acceso.

El fichero de datos del estudio estará bajo la responsabilidad del/de la investigador/a principal, ante el cual podrá ejercer en todo momento los derechos que establece la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).

Todos/as los/las participantes tienen derecho a retirarse en cualquier momento de una parte o de la totalidad del estudio, sin expresión de causa o motivo y sin consecuencias. También tienen derecho a que se les clarifiquen sus posibles dudas antes de aceptar participar y a conocer los resultados de sus pruebas.

Nos ponemos a su disposición para resolver cualquier duda que pueda surgirle. Puede contactar con nosotros a través del siguiente correo electrónico: nvals@edu.tecnocampus.cat

Anexo II. Hoja de consentimiento informado

Yo, [NOMBRE Y APELLIDOS DEL PARTICIPANTE], mayor de edad, con DNI [NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN], actuando en nombre e interés propio,

DECLARO QUE:

He recibido información sobre el proyecto: Adaptaciones neuromusculares al entrenamiento de la fuerza en acortamiento y estiramiento muscular, del que se me ha entregado hoja informativa anexa a este consentimiento y para el que se solicita mi participación. He entendido su significado, me han sido aclaradas las dudas y me han sido expuestas las acciones que se derivan del mismo. Se me ha informado de todos los aspectos relacionados con la confidencialidad y protección de datos en cuanto a la gestión de datos personales que comporta el proyecto y las garantías tomadas en cumplimiento de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).

Mi colaboración en el proyecto es totalmente voluntaria y tengo derecho a retirarme del mismo en cualquier momento, revocando el presente consentimiento, sin que esta retirada pueda influir negativamente en mi persona en sentido alguno. En caso de retirada, tengo derecho a que mis datos sean cancelados del fichero del estudio.

Así mismo, renuncio a cualquier beneficio económico, académico o de cualquier otra naturaleza que pudiera derivarse del proyecto o de sus resultados.

Por todo ello,

DOY MI CONSENTIMIENTO A:

1. Participar en el proyecto: Adaptaciones neuromusculares al entrenamiento de la fuerza en acortamiento y estiramiento muscular.
2. Que Nàdia Valls Arcas y su director/a Sergi Nuell Turon puedan gestionar mis datos personales y difundir la información que el proyecto genere. Se garantiza que se preservará en todo momento mi identidad e intimidad, con las garantías establecidas en la Ley Orgánica 3/2018, de

5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).

3. Que los/las investigadores/as conserven todos los registros efectuados sobre mi persona en soporte electrónico, con las garantías y los plazos legalmente previstos, si estuviesen establecidos, y a falta de previsión legal, por el tiempo que fuese necesario para cumplir las funciones del proyecto para las que los datos fueron recabados.

En *[CIUDAD]*, a *[DIA/MES/AÑO]*

[FIRMA PARTICIPANTE]

[FIRMA DEL ESTUDIANTE] [FIRMA DEL DIRECTOR/A]