

Trabajo final de grado



UNIVERSITAS
Miguel Hernández



¿Cómo afecta el entrenamiento de fuerza muscular a la
modulación cardíaca vagal?

Grado en ciencias de la actividad física y el deporte

Alumno: Juan Alvarado Lozano

Tutor: Dr Manuel Moya Ramón

Curso académico: 2021-2022

ABSTRACT

Esta revisión bibliográfica surge para recabar información sobre la modulación cardíaca vagal en el entrenamiento de fuerza, debido a la escasez de trabajos en torno a esta temática. Si bien el uso de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) está tomando protagonismo en la monitorización de la carga del entrenamiento de resistencia, no hay tanto consenso sobre uso en el entrenamiento de fuerza. Para esta revisión se llevó a cabo una búsqueda en la fuente de datos de pubmed con unas claves de búsqueda que incluían todo tipo de entrenamiento de fuerza (potencia, velocidad, hipertrofia...), la actividad cardíaca vagal y la Frecuencia Cardíaca (FC) de recuperación. Los criterios de inclusión se centraron en sujetos varones sanos, de edad entre 20 y 50 años, y activos en entrenamiento fuerza. Tras la búsqueda de artículos se obtuvieron 683 artículos; y tras la selección de artículos quedaron 6 artículos con los cuales se llevó a cabo la revisión. Los resultados muestran resultados contradictorios debido, sobre todo, a la heterogeneidad de los procedimientos metodológicos en la obtención de los resultados, con un claro sesgo hacia investigaciones que utilizan la oclusión vascular. Para finalizar, se llevó a cabo una propuesta de intervención en base a los artículos encontrados. Esta propuesta de intervención da pie a un estudio de 8 semanas de entrenamiento de fuerza con 2 grupos experimentales y un grupo control. Los grupos experimentales llevarían a cabo dos metodologías. Uno entrenaría con series al fallo y el otro con mantenimiento de la velocidad. Durante el estudio se registraría la VFC y la FC de recuperación en 30 y 60s.

Palabras Clave: variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), frecuencia cardíaca de recuperación (HRRRecovery), entrenamiento de fuerza, monitorización de la carga de entrenamiento.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	MÉTODO.....	7
2.1	FUENTES DE BÚSQUEDA.....	7
2.2	CLAVES DE BÚSQUEDA.....	7
2.3	CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	7
2.4	PROCESO DE SELECCIÓN DE ARTÍCULOS.....	7
3	RESULTADOS.....	10
4	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	20
4.1	Participantes.....	20
4.2	Diseño (explicación general del estudio).....	21
4.3	Material y métodos.....	22
4.4	Tratamiento estadístico.....	24
4.5	Referencias.....	25



1 INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de fuerza se ha considerado tradicionalmente como una actividad que pertenecía al dominio de unos pocos deportes, algunos como el culturismo, halterofilia o powerlifting,

En la actualidad, existe evidencia científica suficiente sobre la importancia del entrenamiento de fuerza para influir positivamente en la mejora de la ratio de desarrollo de fuerza y potencia (Suchomel et al., 2016; Maffiuletti et al., 2016; Rodríguez-Rosell D et al., 2018), la capacidad de sprint (Seitz LB et al., 2014), el cambio de dirección (Keiner M. 2014) o la economía de carrera (Storen O et al., 2008) entre otras. Por lo tanto, habiendo distintas expresiones de la fuerza, cada deporte tiene unas manifestaciones diferentes de esta cualidad que son de gran relevancia para el rendimiento del mismo.

Además, el entrenamiento de fuerza también ha demostrado tener una gran influencia en el bienestar y la salud, con beneficios a nivel multidimensional y en múltiples sistemas (Fiuza-Luces C. 2013). Dada las importantes relaciones que tiene el entrenamiento de fuerza con cuestiones generales del funcionamiento del cuerpo humano, como con las cuestiones específicas del deporte, tenemos amplia evidencia para recomendar su práctica.

En el deporte, la carga de entrenamiento hace referencia a cualquier estímulo estresor impuesto al deportista durante el proceso de entrenamiento o competición capaz de romper el estado de equilibrio u homeostasis (Bourbon et al., 2017).

La búsqueda de la optimización de la carga de entrenamiento, bien para lograr el máximo rendimiento deportivo o bien para prescribir los estímulos más adecuados, hace necesaria una monitorización de la carga interna del deportista, entendida como la respuesta multifactorial (biofisiológica, psicológica, de rendimiento) relativa a los estresores impuestos al deportista durante el entrenamiento o la competición (Bourbon et al., 2017).

En la revisión de Helms et al. (2020) se recopilan las variables o marcadores más utilizados en la actualidad para monitorizar la carga interna del deportista ante el entrenamiento de fuerza. Entre los marcadores fisiológicos encontramos la monitorización de la FC dividida en el control del tono (como la FC de reposo o la FC de recuperación) y en control de la modulación (la Variabilidad de la FC o VFC).

Para entender estos marcadores fisiológicos tenemos que conocer el SNA, que se divide en dos ramas: la parasimpática (SNP), que se encarga de regular el estado de recuperación en el organismo, y la simpática (SNS), que se encarga de regular el estado de activación. Durante el ejercicio, la actividad de la rama parasimpática disminuye y la actividad de la rama simpática se incrementa. Cuando la actividad física cesa pasa a predominar la actividad parasimpática (Tortora y Derrickson, 2018).

Cuando hablamos de VFC, hacemos referencia a los intervalos entre latidos R-R y cómo estos varían. La arritmia sinusal respiratoria es una oscilación en el ritmo de la FC que se da durante los patrones respiratorios y refleja la modulación respiratoria del flujo vagal. Aparece por interacciones de factores periféricos y centrales y suele estar caracterizada por un acortamiento del intervalo R-R con la inspiración y un alargamiento en la expiración (Draghici y Taylor, 2016). La VFC y sus componentes están predominantemente generados por la modulación respiratoria del flujo parasimpático cardíaco (Buchheit et al., 2007).

De esta modulación cardíaca vagal podemos obtener e interpretar diferentes índices. Existen métodos de análisis lineales y no lineales. Dentro de los primeros tenemos los que usan el dominio de la frecuencia y los que usan el dominio del tiempo. Entre estos últimos, cabe destacar dos indicadores que se relacionan directamente con el funcionamiento de la rama parasimpática del SNA, correlacionando positivamente con las oscilaciones de la misma y mostrando una alta consistencia en la investigación, así como, una gran coherencia en la protocolización de su registro. Estaríamos hablando de la desviación estándar de todos los intervalos R-R (SDNN) de un registro temporal, y en la raíz media cuadrática de media de las diferencias al cuadrado de las diferencias entre los intervalos R-R adyacentes (RMSSD) de esa misma serie de datos. Estos índices, además, muestran gran validez con registros temporales cortos (alrededor de 5') y ultracortos (de menos de 90") (Esco et al., 2018). Una baja VFC es un indicador de una adaptación inadecuada y anormal del SNA y, en algunos casos, un incremento de la mortalidad y morbilidad (Draghici y Taylor, 2016).

Por otro lado, la FC de reposo y la FC de recuperación están controladas por la actividad parasimpática principalmente. La recuperación de la FC durante el primer minuto de recuperación se debe principalmente a la reactivación parasimpática, mientras que en períodos más largos se ha visto una acción conjunta del Sistema Nervioso Parasimpático (SNP) y el Sistema Nervioso Simpático (SNS) (Peçanha et al., 2014).

El objetivo de este trabajo es el de recabar información en la bibliografía científica, sobre cómo afecta el entrenamiento de fuerza a estos marcadores de modulación cardíaca vagal,

puesto que en la actualidad hay pocos trabajos que los relacionen. El presente trabajo está autorizado por la Oficina de Investigación responsable de la UMH con el siguiente código de investigación responsable: TFG.GAF.MMR.JAL.220124.



2 MÉTODO

2.1 FUENTES DE BÚSQUEDA

Se realizó una búsqueda bibliográfica el día 2 de febrero de 2022 en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science (WOS). A lo largo del trabajo se irá justificando la información aportada y referenciando la fuente de información con el fin de ser lo más objetivo y riguroso posible.

2.2 CLAVES DE BÚSQUEDA

Las palabras clave elegidas para las búsquedas en las diferentes bases de datos fueron las siguientes:

("Cardiac vagal activity" or "HRRecovery 1") AND ("Strength training" or "Power training" or "Resistance training" or "Neuromuscular training" or "Velocity Based Resistance training")

2.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Para el presente trabajo se recogieron estudios que cumpliesen los siguientes criterios de inclusión:

- Hombres, con tal de evitar afectación hormonal del ciclo menstrual en el trabajo.
- De entre 20 y 50 años, que es el rango de edad que nos interesa principalmente.
- Sin patologías en el momento del estudio para que los parámetros fisiológicos no se viesan afectados por las mismas.
- Deportistas que integran programas de mejora de la fuerza muscular de manera regular.
- Estudios del 2000 al 2021

2.4 PROCESO DE SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

En la figura 1, se puede observar todo el diagrama de flujo que se explica a continuación. En primer lugar, se eliminaron los artículos duplicados resultantes de la búsqueda. El proceso en general consistió en realizar varias revisiones de los estudios, examinando tanto el título como el resumen para descartar aquellos que claramente no

cumplieran con los criterios de inclusión. Y posteriormente, hacer una revisión más a fondo de aquellos artículos que sí cumplían con los requisitos.

De la búsqueda inicial en las bases de datos se obtuvieron 683 artículos. A continuación, fueron eliminados los artículos que se encontraban duplicados, dejando una sola copia. En total fueron 262 artículos desechados.

Después, se realizó una lectura del título y resumen, y se descartaron los estudios en los que no se realizaba una intervención del trabajo de fuerza, tenían patologías o eran estudios en animales, con lo que se eliminaron 358 estudios. La mayor parte de los artículos excluidos trataban temas relacionados con el ámbito clínico o el trabajo de resistencia y no cumplían los criterios de inclusión.

Se volvió a realizar una lectura de título y resumen para comprobar que trataban la temática que nos interesa, que es la modulación cardíaca vagal y el tono parasimpático en el entrenamiento de fuerza. Se eliminaron 24 artículos y quedaron 39 restantes.

Más tarde se realizó una lectura de título, resumen o artículo completo, según fuera necesario, para comprobar que se cumplía el rango de edad entre 20 y 50 años, que se realizase en hombres y que practicasen la fuerza regularmente, tras lo que quedaron 11 artículos.

Finalmente, se realizó una revisión completa de estos artículos y se eliminaron 5 artículos que presentaban variables de poco interés, por lo que quedaron un total de 6 artículos para la revisión bibliográfica.



Figura 1. Flowchart de la revisión bibliográfica

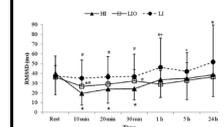


3 RESULTADOS

Tabla 1. Relación pormenorizada de los artículos que cumplieron los criterios de inclusión

Título artículo	Autores	Intervención	Sujetos	Grupos	Método	Características del entrenamiento	Variables registradas	Resultados	Conclusión
Autonomic modulation following an acute bout of bench press with and without blood flow restriction	Yu Lun Tai et al., (2019)	2 sesiones para medidas corporales y evaluar la fuerza en press banca, y 3 sesiones (1 con cada tipo de sesión)	11 hombres	Diseño equilibrado con LL-BFR, HL y CON. (Cada sujeto participa en los distintos modelos de entreno en días separados)	Entrenamiento de fuerza de baja carga con oclusión y cargas elevadas sin oclusión.	Descansan en posición supina 15 min, seguidos de 5 min de evaluación de modulación autonómica. Luego, el entrenamiento según el grupo que sean. Visitas al laboratorio separadas por 3 días mínimo, en las que se hacía una opción cada día: LL-BFR= 4 series press banca de 30, 15, 15, 15 reps al 30% 1RM y 30s de descanso entre series. Usando bandas de 77mm en la zona proximal de ambos brazos con rigidez de 7 sobre 10 para oclusión venosa HL= 4 series press banca de 8 reps al 70% 1 RM sin oclusión, con 60s descanso entre series CON= 10 min descanso en posición supina.	Análisis de frecuencia de la VFC (HF, LF, HF/LF, TP); Análisis temporal VFC (RMSSD, PNN50); Frecuencia cardíaca en reposo y durante la recuperación (media de post 15-20 min y 25-30 min). Variables registradas tras la sesión hasta los 15-20 min y 25-30 min	En el dominio temporal, hubo un decremento significativo ($F_{4,36} = 8.12, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.474$) en la variable LnRMSSD en Rec 1 y Rec 2 comparado con la medida en reposo después de LL-BFR y HL.	Una sesión de fuerza de la parte superior, tanto con baja carga con oclusión, como con una de alta carga sin oclusión, aumenta la FC y reduce la modulación cardíaca vagal al menos durante 30 min

<p>Cardiac Autonomic Recovery After a Single Session of Resistance Exercise with and Without Vascular Occlusion.</p>	<p>Nilo et al., (2014)</p>	<p>1 sesión para determinar el 1RM y 3 sesiones de estudio</p>	<p>9 hombres</p>	<p>Diseño equilibrado con HI, LIO y LI</p>	<p>Entrenamiento de fuerza con oclusión y sin oclusión</p>	<p>En una sesión se hacían 5 series: a) 4 series de 8 repeticiones + 1 serie hasta el agotamiento al 80% del 1RM b) 4 series de 16 repeticiones + 1 serie hasta el agotamiento al 40% del 1RM con oclusión vascular c) 4 series de 16 repeticiones + 1 serie hasta el agotamiento al 40% del 1RM sin oclusión vascular</p>	<p>FC, Lactato en sangre, VFC en dominio de frecuencia y temporal (FC media y RMSSD)</p>	<p>La RMSSD se redujo por debajo de los valores en reposo por 10 minutos (LIO) y 30 min (HI) al terminar la sesión La RMSSD se mantuvo similar a los niveles de reposo para LI hasta las 24 horas postejercicio. Valores más bajos para la RMSSD se observaron para HI comparado con LI hasta 1 hora postejercicio, mientras que los valores para LIO fueron significativamente mayores comparados con HI a los 10 y 30 min</p>	<p>Recuperación de la VFC más mitigada y prolongada en HI. Mayor reducción de la VFC en HI que en LI y LIO. Mayor perturbación de la VFC en el grupo LIO que en LI.</p>
--	----------------------------	--	------------------	--	--	---	--	---	---



<p>Effects of load and type of physical training on resting and postexercise cardiac autonomic control.</p>	<p>Zaque line et al., (2013)</p>	<p>1 sesión de test maximal</p>	<p>47 hombres</p>	<p>SE= 18 RT= 15 AT= 14</p>	<p>Test maximal gradual en cicloergómetro</p>	<p>Protocolo maximal sobre cicloergómetro que comenzaba a 25W e incrementaba cada 25W correspondiendo a cada etapa. Necesario mantener 50-60 revoluciones por minuto para que continúe el test</p>	<p>HRR (HRR_{60s}, T30), VFC (RMSSD, RMSSD_{30s}, LF, HF)</p>	<p>El grupo SE presentó mayor FC al final del primer del primer minuto de recuperación comparado con los dos grupos activos (P= 0.001). Los grupos RT y AT presentaron mejor HRR60s (P = 0.002) y menores (P = 0.046) que SE. Estas diferencias no se encontraron en T30. Los valores de HRR_{60s} fueron: SE=30,7 ± 5.5*; RT= 36.9 ± 6.5*; AT=39.2 ± 7.8*. Sólo el grupo AT presentó reactivación vagal postejercicio→ incremento significativo en el índice RMSSD_{30s} relativo a su valor inmediatamente después del ejercicio (0-30 s).</p>	<p>a) La carga de entrenamiento o no influencia la VFC en reposo b) la carga de entrenamiento o acelera la FCR c) no hay diferencias en la FCR entre sujetos que hacen ejercicio aeróbico y de fuerza</p>
---	----------------------------------	---------------------------------	-------------------	-------------------------------------	---	--	---	--	---

<p>Isolated and Combined Effects of Aerobic and Strength Exercise on Post-exercise Blood Pressure and Cardiac Vagal Reactivation in Normotensive Men</p>	<p>Roberto JR et al., (2011)</p>	<p>5 sesiones (2 para establecer el rendimiento base y 3 de estudio)</p>	<p>11 hombres con al menos 6 meses de experiencia en entrenamiento de fuerza y aeróbico</p>	<p>Diseño equilibrado con STS, ATS, ASTS</p>	<p>Sesiones de entrenamiento de fuerza, aeróbico y concurrente para cada participante</p>	<p>STS= 3 series de 12RM para los ejercicios: bench press, leg press a 45°, shoulder press, leg extension, seated row, leg curl, biceps curl, y seated calf raise. ATS= 40 minutos en cicloergómetro entre el 60 y el 70% de la FC de reserva ASTS= entrenamiento aeróbico seguido del de fuerza con una secuencia similar a las otras sesiones.</p>	<p>HRR (HRR60, T30)</p>	<p>El mayor valor de T30 fue para ASTS, que difirió significativamente de ATS y STS. El mayor valor para HRR60 fue para ATS, que fue significativamente diferente de los otros dos tipos de sesiones</p>	<p>Sugieren que el comportamiento de la FC de Recuperación depende más del trabajo total que del tipo de ejercicio</p>
<p>Postexercise Heart Rate Recovery Accelerates in Strength-Trained Athletes.</p>	<p>Otsuki T. et al., (2007)</p>	<p>2 sesiones (1 para medir el consumo de oxígeno y 1 para la evaluación de la FC de recuperación)</p>	<p>36 hombres</p>	<p>ST=12 ET=12 C=12</p>	<p>Sesión en cicloergómetro y medición post esfuerzo</p>	<p>Sesión en cicloergómetro: 8 min al 40% del consumo máximo de oxígeno</p>	<p>Constante temporal de la caída de la FC en 30s (T30), ratio del consumo de oxígeno, déficit y deuda de oxígeno</p>	<p>T30 fue 26.6 y 29.8% menor en los grupos ST y ET comparado con el grupo C. Así, la FC de recuperación fue equivalente en los grupos ST y ET comparado con el C.</p>	<p>La FC de recuperación postejercicio está acelerada, no sólo en los sujetos entrenados en resistencia, sino también en los sujetos entrenados en fuerza. Proponen que la adaptación</p>

									de la mediación vagal de la FC de recuperación después del ejercicio en entrenados en fuerza es idéntica a la de los entrenados en resistencia.
The Effects of an Intensive 2-wk Resistance Training Period on Strength Performance and Nocturnal Heart Rate Variability	Piia K. et al., 2020	1 semana de familiarización (incluye valoración de la fuerza y medidas antropométricas, 2 semanas de entrenamiento estándar, 2 semanas de entrenamiento intensivo y 9 días de entrenamiento de tapering	13 hombres	no hay grupos, cada participante va a realizar las sesiones de entrenamiento a la misma hora del día todos los días	2 semanas de entrenamiento de fuerza estándar (similar a lo que venían haciendo (2 sesiones de ejercicio a la semana)), 2 semanas de entrenamiento de fuerza intensivo aumentando la carga de entrenamiento (la frecuencia aumenta a 5 sesiones la 1ª	El régimen de entrenamiento consistía de 2 tipos de sesiones alternadas durante el programa de entrenamiento. <u>Sesión 1:</u> leg press (4 × 6 reps), knee extension (4 × 10 reps), knee flexion (4 × 10 reps), bench press (4 × 10 reps), seated cable row (4 × 10 reps), and abdominal Crunch (4 × 10 reps) en este orden.	VARIABLES DE VFC DE DOMINIO TEMPORAL (RMSSD) Y DE FRECUENCIA (HFP), FUERZA BILATERAL DINÁMICA MÁXIMA (Test dinámico de leg press), FUERZA BILATERAL ISOMÉTRICA MÁXIMA (Test de leg press isométrico)	La frecuencia cardíaca nocturna se incrementó 74 a 78 lpm (P = .01; 95% CI, 2.4 a 7.5; d = 1.16) del pre al intensivo. La RMSSD disminuyó de 49 a 43 ms (P = .004; 95% CI, 2.4–10.4; d = 0.97 del pre al intensivo; No se encontraron cambios entre el período intensivo y el tapering	La variable RMSSD disminuyó (VFC) durante el período de entrenamiento intensivo y la fuerza isométrica máxima mejoró ligeramente. Los resultados sugieren que la VFC puede

				<p>semana de intensivo y 4 sesiones la 2ª semana de intensivo) y 2 semanas de entrenamiento de fuerza tipo tapering</p>	<p><u>Sesión 2:</u> leg press (4 × 4 reps), knee extension (4 × 8 reps), knee flexion (4 × 8 reps), seated military press in Smith machine (4 × 8 reps), lat machine pulldown to the front (4 × 8 reps), and machine abdominal crunches (4 × 8 reps) en este orden.</p> <p>2 semanas de entrenamiento base → 2 sesiones por semana</p> <p>2 semanas de entrenamiento intensivo → 5 sesiones la primera semana y 4 la segunda</p> <p>Tapering → 2 sesiones</p>		<p>ser una herramienta útil en la estimación de la carga de entrenamiento o fisiológica en el entrenamiento de fuerza, además del de resistencia</p>
--	--	--	--	---	---	--	--

LL-BFR: Low load-blood flow restriction; **HL:** High load ; **CON:** Control ; **HI:** High intensity ; **LIO:** Low intensity occlusion ; **LI:** Low intensity ; **SE:** Sedentary ; **RT:** Resistance trained ; **AT:** Aerobically trained ; **T30:** Análisis de regresión semi-logarítmico de los primeros 30s ; **STS:** Strength trained session ; **ATS:** Aerobic training session ; **ASTS:** Aerobic and strength training session ; **ST:** Strength trained ; **ET:** Endurance trained ; **C:** Control ; **HFP:** High-Frequency Power

A continuación, se detallan los datos descriptivos, en valores absolutos y porcentuales, de los aspectos que van a dar pie a la propuesta de intervención tras su valoración.

Tabla 2. Descriptivos de los 6 estudios que reúnen criterios de inclusión

Intervención			
Sesiones o semanas de duración		N.º de artículos	%
1 sesión		2	33,3
3 sesiones (con distintos tipos de sesión; aisladas)		3	50
6 semanas		1	16,7
Grupos			
Experimental	Control	N.º de artículos	%
2	1	2	33,3
3	0	3	50
1	0	1	16,7
Participantes			
N.º de participantes		N.º de artículos	%
9-13		4	66,7
36		1	16,7
47		1	16,7
Variables foco de estudio			
Tipo		N.º de artículos	%
RMSSD		4	50
Variables de FC de recuperación (HRR ₆₀ o T30)		3	37,5
RMSSD y Variables de FC de recuperación (HRR ₆₀ o T30)		1	12,5
Metodología			
Tipo de estudio		N.º de artículos	%
Intervención entrenamiento de Fuerza		4	66,7
Medición tras test maximal cicloergómetro		2	33,3

Todos los estudios de la revisión utilizan de muestra a varones comprendidos entre 20 y 30 años de edad, que practican entrenamiento de fuerza de manera previa durante al menos 6 meses. Dos estudios tienen además grupos de entrenados aeróbicamente, y el estudio de Ruiz et al. (2011) utiliza sujetos entrenados en concurrencia (fuerza y resistencia), además de entrenados en fuerza y resistencia.

La duración de la intervención en los estudios fue de 1 sesión para dos artículos, ambos de test maximal en cicloergómetro y medición posterior; 3 sesiones para 3 artículos que usaban sesiones de entrenamiento de distinto tipo en los mismos sujetos, pero de manera aislada; y una intervención en entrenamiento de fuerza de 6 semanas. De los 3 artículos que usaban sesiones de entrenamiento de distinto tipo en los participantes, 2 utilizaban entrenamiento de fuerza con oclusión vascular y sin esta, y el otro artículo utilizaba entrenamiento de fuerza, aeróbico y concurrente. La intervención de entrenamiento de fuerza de 6 semanas llevaba a cabo 2 semanas de entrenamiento estándar, 2 semanas de entrenamiento intensivo (la frecuencia de sesiones pasa de 2/semana a 5 la primera semana y 4 la segunda semana) y 9 días de tapering.

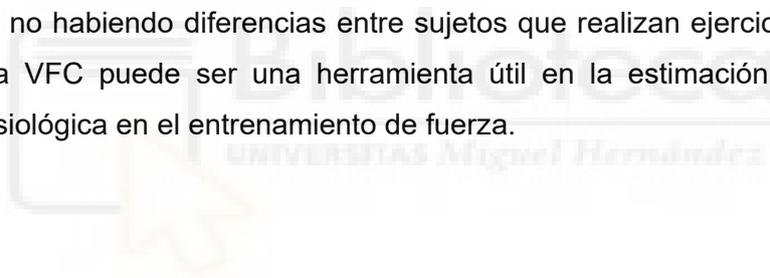
En cuanto a la clasificación en grupos, en los dos artículos que usaron oclusión vascular, el de Tai et al. (2019), tiene un grupo de bajas cargas con oclusión vascular, otro con altas cargas sin oclusión y un grupo control; el otro estudio que utiliza oclusión, el de Nilo et al. (2014), tiene un grupo de oclusión con baja carga, otro de alta carga sin oclusión y otro de baja carga sin oclusión. Los dos estudios que medían tras realizar el test maximal, tenían ambos un grupo de entrenados en resistencia, entrenados en fuerza y un grupo control o de no entrenados. El estudio que utiliza sujetos entrenados en concurrencia realiza sesiones de entrenamiento aeróbico, fuerza y concurrente por separado a cada participante. Y la intervención de 6 semanas realiza a todos los individuos 2 tipos de sesión, alternándose estas a lo largo del programa. Los participantes se encontraban entre 9 y 13 sujetos, a excepción de dos artículos con 36 y 47 sujetos.

Las variables de las que se han obtenido datos para esta revisión son la RMSSD, de la cual, 4 artículos aportan datos (50%), y variables de la FC de recuperación (T30 y HRR60), con 3 artículos que presentan datos (37,5%); sólo 1 artículo presentó ambas variables (12,5%).

Centrándonos en los protocolos de medición, los estudios presentan gran variedad en los mismos, tanto antes como después de la sesión objetivo. En el protocolo de evaluación

de la VFC, hay 2 estudios (Tai et al., 2019; Zaqueline et al., 2013), que utilizan un protocolo estándar propuesto por la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad Norteamericana del ritmo y la electrofisiología (Task-Force, 1996). Atendiendo a los otros dos estudios que valoran la VFC, en el de Nilo et al. (2014), llevan a cabo un periodo de estabilización de la señal de 5 min previos a la actividad, y luego miden la VFC a los 10, 20, 30 minutos, 1, 5, y 24 horas post ejercicio; mientras que en el de Kaikonen et al. (2020), miden la VFC nocturna, comenzando las mediciones 30 minutos después de que la persona se fuera a dormir y durando estas todo el tiempo de sueño de los participantes. En los estudios en los que se evaluaba la FC de recuperación, se medía la FC durante 30 o 60 segundos tras el ejercicio mediante un electrocardiograma o una banda de FC.

Entre las principales conclusiones extraídas de los artículos revisados encontramos que, una sesión aguda de entrenamiento de fuerza, con oclusión y cargas bajas, como sin oclusión con cargas altas, puede disminuir la modulación cardíaca vagal, siendo más prolongada y mitigada en el entrenamiento con cargas altas, pudiendo durar hasta media hora. Que el comportamiento de la FC de recuperación depende más del trabajo total que del tipo de ejercicio, no habiendo diferencias entre sujetos que realizan ejercicio aeróbico o de fuerza. Y que la VFC puede ser una herramienta útil en la estimación de la carga de entrenamiento fisiológica en el entrenamiento de fuerza.

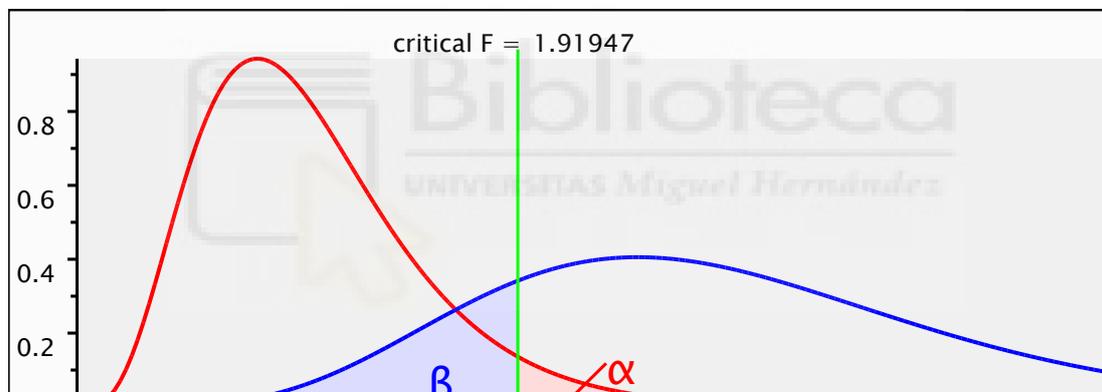


4 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

4.1 Participantes

Una vez introducido en el software “G-Power®” el número de grupos y variables, con los siguientes parámetros de entrada para una ANOVA de efectos fijos:

- Effect size f: 0.40
- α err prob: 0.05
- Power (1- β err prob): 0.80
- Numerator df: 10
- Number of groups: 3



Obtenemos que la muestra total de participantes debe ser de 111, o lo que es lo mismo, 37 participantes por grupo. Los participantes serán informados previamente de todo el estudio, firmando un consentimiento informado sobre su participación. Los sujetos podrán abandonar el estudio cuando lo deseen. El estudio cumple con todos los criterios del acuerdo de Helsinki para experimentación con humanos y está aprobado por el OIR de la Universidad.

En cuanto a los grupos con los que contará el trabajo, habrá un grupo control (C) y dos grupos experimentales. El grupo control hará las pruebas pre y post, así como las mediciones de la VFC y de FC de recuperación en 30 y 60 segundos, pero no llevará a cabo ninguna sesión de fuerza. El primer grupo experimental (E1) llevará a cabo un entrenamiento de fuerza con series al fallo. El grupo experimental 2 (E2) llevará a cabo un entrenamiento de fuerza con mantenimiento de la velocidad de movimiento.

4.2 Diseño (explicación general del estudio)

Se va a realizar una intervención de 8 semanas. 2 semanas antes de la intervención se recogerán datos basales de la VFC. Tras estas dos semanas se realizará el pretest, en el que se realizarán las pruebas antropométricas, el test de RM y el test de cargas progresivas. posteriormente se desarrollan las 8 semanas de intervención en las que se llevarán a cabo las mediciones de VFC y FC de recuperación de los 3 grupos. Los grupos experimentales llevarán a cabo 3 sesiones semanales de fuerza, de 1 h cada una. El grupo E1 llevará a cabo un entrenamiento de fuerza con series al fallo, mientras que el grupo E2 hará un entrenamiento de fuerza manteniendo una determinada velocidad de movimiento, es decir, cuando ya no sea capaz de mantener esa velocidad de movimiento la serie habrá acabado. Las sesiones de entrenamiento estarán compuestas por tan solo 2 ejercicios: “*press*” de banca (PB) y “*squat*” (SQ). Las mediciones de la VFC se tomarán en posición supina por la mañana utilizando el flash del móvil y la aplicación HRV4training, mientras que la FC de recuperación se tomará a los 30 y 60s de terminar la sesión. Tras las 8 semanas se llevará a cabo un post test en el que se realizarán las mismas pruebas que en el pretest. El diseño detallado se puede observar en la figura 1.

Grupos	Variables medidas*		Semana Basal 1	Semana Basal 2	Semana Exp. 1	Semana Exp. 2	Semana Exp. 3	Semana Exp. 4	Semana Exp. 5	Semana Exp. 6	Semana Exp. 7	Semana Exp. 8
	VFC Matinal	FC rec. 30 y 60s										
Serie/ejercicio					3	4	5	6	5	5	4	4
CONTR OL	X	X										
E1 (8-10 reps al fallo)	X	X			3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ
E2 (perdida de vel. <10%)	X	X			3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ	3 sesiones de 1 h/ PB y SQ
					PRETEST (RM, CP y MC)							POST-TEST (RM, CP y MC)

* La VFC se medirá diariamente y la FC de recuperación tras las sesiones

RM= Test de repeticiones máximas ; CP= test de cargas progresivas ; MC= Mediciones corporales (masa y estatura)

Figura 1. Esquema del diseño del estudio

4.3 Material y métodos.

Medición masa corporal y estatura

En la sesión previa al inicio del estudio, todos los sujetos serán pesados con un analizador de composición corporal de 4 electrodos (Tanita BC-601; Tanita Corp., Tokio, Japón) SD: $\pm 0,1\text{kg}$ y se registrará la altura con un tallímetro-estadiómetro (Seca 217; Seca Ltd., Hamburgo, Alemania) SD: $\pm 1\text{mm}$. Los sujetos realizarán una inspiración máxima previa a la medición de la talla. Durante la medición de la masa corporal, los participantes subirán a la báscula digital, mirando al frente.

Mediciones de la VFC.

Todos los sujetos deberán de medir sus intervalos de pulso FC cuando se despierten y al vaciar la vejiga, ambas durante el período basal y el período de entrenamiento. Las medidas de VFC serán capturadas sobre el dedo usando el flash del teléfono y la aplicación móvil de HRV4Training (ver <http://www.hrv4training.com>). La VFC se medirá en posición sentado y en un período de 90 segundos. Durante la medición, los sujetos no realizarán ninguna actividad hasta que esta termine, y los últimos 60 segundos de medición de la VFC son los que se tendrán en cuenta. Durante el análisis de la señal, la aplicación procesará y descartará los artefactos y los latidos ectópicos. En los casos en los que el registro de la señal sea erróneo o haya mucho ruido (i.e., movimiento excesivo del dedo del sujeto), la grabación se descartará y se repetirá inmediatamente hasta que se obtenga una grabación óptima. La diferencia de la raíz cuadrática media de los sucesivos intervalos R-R normales (RMSSD), será la variable elegida como índice vagal, basado en sus adecuados y fiables resultados en comparación a otros índices. Los datos de la VFC serán transformados tomando el logaritmo natural para permitir comparaciones estadísticas paramétricas que asuman una distribución normal. Se usará el cálculo de una media de 7 días ($\text{LnRMSSD}_{\text{media-7días}}$) para la prescripción de entrenamiento. Durante el período basal, el menor cambio significativo del LnRMSSD se calculará como $\text{media} \pm 0,5 \times \text{SD}$. El menor cambio significativo se actualizará después de las 4 primeras semanas de período de entrenamiento debido a la relación entre la regulación cardíaca autonómica y la adaptación al entrenamiento.

Para las mediciones de la FC de recuperación se tomará la FC durante 30 y 60 segundos justo al terminar la sesión usando una banda de frecuencia cardíaca (Marca: Polar; Modelo: H10).

Test de RM

Test de repeticiones máximas

Se les pedirá a los participantes que realicen el mayor número de repeticiones posibles hasta alcanzar una VMP $<0,70\text{m/s}$ y $<0,50\text{m/s}$ para los ejercicios de SQ y PB, respectivamente. Los participantes comenzarán el test con la masa que movilizan a 1m/s y $0,78\text{m/s}$ para los ejercicios de SQ y PB, respectivamente. Dicha masa se corresponde con el $60\%RM$ de acuerdo con la curva fuerza-velocidad. Se dará constante apoyo verbal para que los sujetos mantengan la velocidad de ejecución durante cada una de las repeticiones. Una vez finalicen la serie de SQ, registramos el número de repeticiones logradas y el sujeto descansa durante 6'. Posteriormente, el sujeto comenzará la segunda parte de la batería de test con el ejercicio de PB, finalizando con la ejecución del test de repeticiones máximas.

Test de cargas progresivas

Test cargas progresivas SQ: el test de cargas progresivas de SQ consistirá en realizar series con masas de 25, 35, 45, 55, 65... kg hasta llegar al 80% del $1RM$ del sujeto, o lo que es lo mismo, la máxima masa que pudiese movilizar a una VMP en torno a $0,67\text{ m/s}$. Una vez se alcance esta carga, el test se da por finalizado. Por tanto, en función del nivel del sujeto, el número de series realizadas variará de unos a otros. Las recuperaciones entre series serán de 3-4', y las repeticiones realizadas serán a) 3 repeticiones con cargas movilizadas por encima de 1 m/s (cargas bajas-medias), b) 2 repeticiones con cargas entre $0,84$ y 1m/s (cargas medias-altas), y c) 1 repetición con cargas por debajo de $0,84\text{ m/s}$ (cargas altas).

Test cargas progresivas PB: el test de cargas progresivas de PB consistirá en realizar series con cargas de 20, 30, 40, 50, 60... kg hasta llegar al 80% del $1RM$ del sujeto, o lo que es lo mismo, la máxima carga que pueda movilizar a una VMP en torno a $0,46\text{ m/s}$. Una vez se alcance esta carga, el test se dará por finalizado. Por tanto, en función del nivel del sujeto, el número de series realizadas variará de unos a otros. Las recuperaciones entre series serán de 3-4', y las repeticiones realizadas

serán a) 3 repeticiones con cargas movilizadas por encima de 0,78 m/s (cargas bajas-medias), b) 2 repeticiones con cargas entre 0,62 y 0,78 m/s (cargas medias-altas), y c) 1 repetición con cargas por debajo de 0,62 m/s (cargas altas).

Test de fatiga

Test fatiga SQ: tras descansar 5´ desde la realización de la última serie del test anterior, se realizará 1 serie de 12 repeticiones con una carga del 60% del 1RM, o lo que es lo mismo, aquella carga máxima que el sujeto pueda desplazar a una VMP en torno a 1 m/s, para el ejercicio de sentadilla. Se aceptará una variación de 0,03 m/s de la VMP de la primera repetición tanto por arriba como por abajo para aceptar la carga como correcta (cerca al 60% 1RM).

Test fatiga PB: tras descansar 5´ desde la realización de la última serie del test anterior, se realizará 1 serie de 12 repeticiones con una carga del 60% del 1RM, o lo que es lo mismo, aquella carga máxima que el sujeto pueda desplazar a una VMP en torno a 0,78 m/s, para el ejercicio de press de banca. Se aceptará una variación de 0,03 m/s de la VMP de la primera repetición tanto por arriba como por abajo para aceptar la carga como correcta (cerca al 60% 1RM).

4.4 Tratamiento estadístico

Los datos se presentarán como media \pm SD. Inicialmente, a través de una prueba de Kolmogorov-Smirnov, se comprobará la distribución normal de los datos. Si la distribución de los datos es normal, se realizaría una ANOVA de medidas repetidas, con un factor intrasujeto (tiempo, pre-post) y un factor entre sujetos (grupo). Posteriormente, se realizará una prueba post hoc de Bonferroni en caso de que el valor de ANOVA fuese significativo. Las diferencias estandarizadas o tamaños del efecto (ES) junto con sus intervalos de confianza al 95% se expresarán en unidades de Cohen (d) interpretándose en función de la siguiente escala: triviales (<0,19), pequeñas (0,20-0,49), moderadas (0,50-0,79) y grandes (>0,80) (Cohen, 1992). Los resultados se analizarán con el software IBM SPSS Statistics versión 25.0.

4.5 Referencias.

- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., ... & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, 12(s2), S2-161.
- Buchheit, M., Papelier, Y., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability?. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), H8-H10.
- Draghici, A.E., Taylor, J.A. The physiological basis and measurement of heart rate variability in humans. *J Physiol Anthropol* 35, 22 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40101-016-0113-7>
- Esco, M. R., Williford, H. N., Flatt, A. A., Freeborn, T. J., & Nakamura, F. Y. (2018). Ultra-shortened time-domain HRV parameters at rest and following exercise in athletes: an alternative to frequency computation of sympathovagal balance. *European Journal of Applied Physiology*, 118(1), 175-184.
- Fiuza-Luces C, Garatachea N, Berger NA, et al. Exercise is the real polypill. *Physiology* (Bethesda). 2013;28(5):330–58.
- Guerra, Z. F., Peçanha, T., Moreira, D. N., Silva, L. P., Laterza, M. C., Nakamura, F. Y., & Lima, J. R. P. (2014). Effects of load and type of physical training on resting and postexercise cardiac autonomic control. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34(2), 114–120.
- Helms, E. R., Kwan, K., Sousa, C. A., Cronin, J. B., Storey, A. G., & Zourdos, M. C. (2020). Methods for Regulating and Monitoring Resistance Training. *Journal of human kinetics*, 74, 23–42. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0011>
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Hautala, A., & Ahtainen, J. P. (2020). The effects of an intensive 2-wk resistance training period on strength performance and nocturnal heart rate variability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(10), 1448–1454. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0531>
- Keiner M, Sander A, Wirth K, et al. Long-term strength training effects on change-of-direction sprint performance. *J Strength Cond Res*. 2014;28(1):223–31.
- Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116(6):1091–116.
- Okuno, N. M., Pedro, R. E., Leicht, A. S., De Paula Ramos, S., & Nakamura, F. Y. (2014). Cardiac autonomic recovery after a single session of resistance exercise with and without vascular occlusion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1143–1150. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000245>
- Otsuki, T., Maeda, S., Iemitsu, M., Saito, Y., Tanimura, Y., Sugawara, J., Ajisaka, R., & Miyauchi, T. (2007). Postexercise heart rate recovery accelerates in strength-trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 365–370. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000241647.13220.4C>

- Peçanha, T., Silva-Júnior, N. D., & Forjaz, C. L. D. M. (2014). Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clinical physiology and functional imaging*, 34(5), 327-339.
- Rodriguez-Rosell D, Pareja-Blanco F, Aagaard P, et al. Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2018;38(5):743–62.
- Ruiz, R. J. O., Simão, R., Saccomani, M. R., Casonatto, J., Alexander, J. L., Rhea, M., & Polito, M. D. (2011). Isolated and combined effects of aerobic and strength exercise on post-exercise blood pressure and cardiac vagal reactivation in normotensive men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 640–645.
- Suchomei TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med*. 2016;46(10):1419–49.
- Seitz LB, Reyes A, Tran TT, Saez de Villarreal E, et al. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med*. 2014;44(12):1693–702
- Storen O, Helgerud J, Stoa EM, et al. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(6):1087–92.
- Tai, Y. L., Marshall, E. M., Glasgow, A., Parks, J. C., Sensibello, L., & Kingsley, J. D. (2019). Autonomic modulation following an acute bout of bench press with and without blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 119(10), 2177–2183.
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2018). *Principles of anatomy and physiology*. John Wiley & Sons.