

MATERIAL ADICIONAL

ÍNDICE

1.	CONCEPTOS Y PROTOCOLO ERGOESPIROMETRÍA	2
1.1	SÍNDROME DE COVID PERSISTENTE (SCP).....	2
1.2	PROTOCOLO ERGOESPIROMETRÍA.....	2
2.	MAPA METABÓLICO MITOCONDRIAL	3
3.	PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO	5
3.1	ASPECTO GENERALES DE LA INTERVENCIÓN	5
3.2	PERFILES DE CARGA – VELOCIDAD Y EVALUACIÓN NEUROMUSCULAR.....	5
3.3	EVALUACIÓN DE LA MUSCULATURA RESPIRATORIA.....	5
3.4	MEDICIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL.....	5
3.5	ENTRENAMIENTO FÍSICO.....	6
3.5.1	Entrenamiento Neuromuscular (ENM)	7
3.5.2	Entrenamiento de la musculatura central (core)	7
3.5.3	Entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT)	8
3.5.4	Entrenamiento Muscular Inspiratorio	8
3.5.5	Entrenamiento Aeróbico no presencial.....	9
4.	BIBLIOGRAFÍA	10

1. CONCEPTOS Y PROTOCOLO ERGOESPIROMETRÍA

1.1 SÍNDROME DE COVID PERSISTENTE (SCP)

Se definió síndrome de COVID persistente (SCP): como el complejo sintomático multiorgánico que afecta a aquellos pacientes que han padecido la COVID-19 con test diagnóstico positivo (PCR) y que permanecieran con sintomatología tras la considerada fase aguda de la enfermedad, pasadas 12 semanas y que los síntomas no puedan ser explicados por otra causa ¹. Se definió IE como la presencia de astenia o disnea con el esfuerzo.

1.2 PROTOCOLO ERGOESPIROMETRÍA

La capacidad funcional máxima se evaluó utilizando ergoespirometría (EE) en tapiz mediante un protocolo incremental, en rampa y limitado por los síntomas (GERATHERM) comenzando con una carga de trabajo de 2 km/h y 0% de pendiente durante 2 minutos (fase de calentamiento), aumentando posteriormente mediante una rampa con leves incrementos, cada 6 segundos, tanto de velocidad como de inclinación, y con un tiempo de ejercicio limitado por los síntomas o por la finalización del protocolo (alcanzado a los 13 minutos, con carga de 11 km/h y 15% de pendiente), lo que antes ocurriera. Finalmente, había una fase de enfriamiento de 2 minutos a 2 km/h y 0% de pendiente. Durante ejercicio, los pacientes fueron monitorizados con un electrocardiograma de 12 derivaciones y mediciones de la presión arterial cada 2 minutos. Los datos de intercambio de gases y las variables cardiopulmonares son promedios de los valores tomados cada 3 segundos. El VO₂ pico se definió como la media de los 3 valores más altos de VO₂ durante los últimos 20 segundos de ejercicio. Una vez que se obtuvo VO₂ pico, se calculó su porcentaje del VO₂ máximo previsto (%VO₂max), ajustado al sexo, edad, el protocolo de ejercicio, el peso y la altura según la ecuación de predicción estándar para población europea de Glässer ². Las EE pre y post intervención fueron realizadas con el mismo equipo, mediante el mismo protocolo y analizadas por la misma persona.

TABLA 1 DEL MATERIAL ADICIONAL. Variables de función mitocondrial (mapa metabólico mitocondrial)

Variable	Intervención (n =18)				Control (n =19)			
	Basal	Seguimiento	Cambio	P Value	Basal	Seguimiento	Cambio	P Value
VARIABLES DE FUNCIÓN MITOCONDRIAL								
Tiempo (min)	7.4	8.8	15.9%	0.03	6.9	7.7	10.4%	0.06
VO2 (ml/min/kg)	24.9	29.3	15%	<0.001	25.2	24.8	-1.6%	0.46
MFO (mg/min)	456.6	447.3	-2.1%	0.79	605.5	538.8	-12.4%	0.17
CHO max (mg/min)	3131.4	4601.9	32%	<0.001	3734.8	3425.5	-9%	0.3
PAM (km/h)	4.57	5.63	18.8%	<0.001	4.97	5.33	6.8%	0.07

Tabla 1 del material adicional. Resultados pre y post intervención para las variables de función mitocondrial. VO2 consumo de oxígeno máximo durante la prueba; MFO, Maximal fat oxidation; CHOmax, máxima tasa de oxidación de hidratos de carbonos. PAM, punto de agotamiento mitocondrial.

2. MAPA METABÓLICO MITOCONDRIAL

Adicionalmente, a los pacientes se les realizó un mapa metabólico mitocondrial (MMM) (figura 1 del material adicional) utilizando para ello los datos obtenidos de la EE, transformando el VO2 y el VCO2 en tasas de oxidación de grasas (oxFAT) e hidratos de carbono (oxCHO) mediante la fórmula de Frayn³. Se calcularon los valores máximos de oxFAT (MFO), oxCHO (CHOmax) así como el punto de agotamiento mitocondrial (PAM) definido como el punto en el que la oxFAT alcanzaba el valor de 0 mg/min (punto de agotamiento del metabolismo lípido).

Figura 1 del material adicional. Ejemplo de mapa metabólico mitocondrial

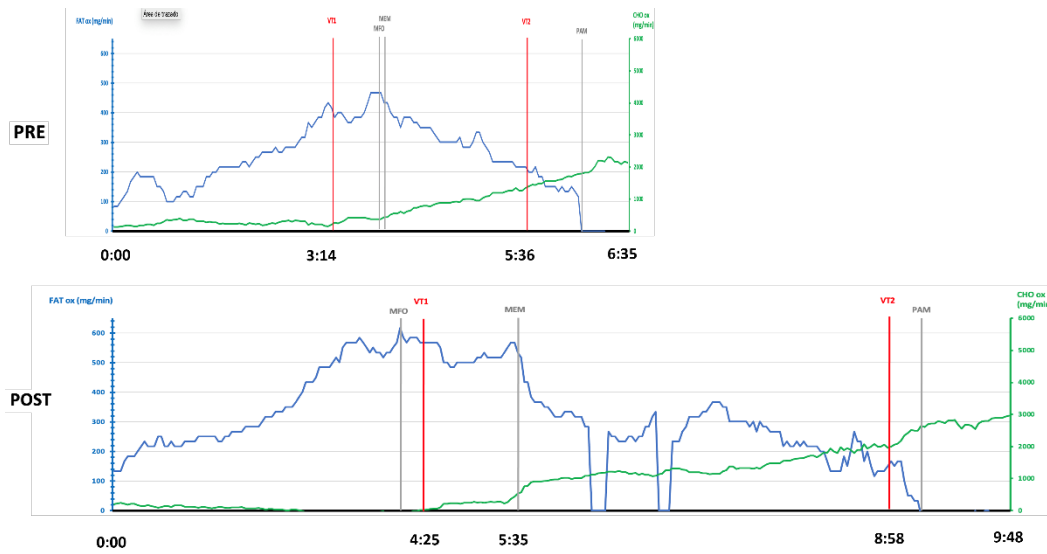


FIGURA 1 del material adicional: Ejemplo de mapa metabólico mitocondrial (MMM). Se muestra el MMM del paciente 4 del grupo intervención previo (“pre” en la parte superior) y tras la intervención (“post” en la parte inferior). En la gráfica se muestra la oxidación de grasas durante el ejercicio (FAT ox, línea azul) y la oxidación de hidratos de carbono (CHO ox, línea verde). Dichos datos se obtienen utilizando la ecuación de Fryan a partir del consumo de oxígeno y de dióxido de carbono de la prueba de esfuerzo cardiopulmonar realizada. Además, se muestran, el punto de máxima oxidación de grasas (MFO), el punto de agotamiento mitocondrial (PAM) y el punto de máxima eficiencia metabólica (MEM). Por otra parte, se han añadido como referencia la posición del primer y segundo umbral ventilatorio (VT1 y VT2) en ambas pruebas. Nótese el desplazamiento hacia la derecha del PAM, aumentando el área bajo la curva de FAT ox, así como aumento del la máxima CHO ox, todo ello indicativo de mayor eficiencia metabólica.

3. PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO

3.1 ASPECTO GENERALES DE LA INTERVENCIÓN

La intervención se evaluó en dos momentos, una semana antes de comenzar y la semana siguiente una vez acabado el programa de entrenamiento. El conjunto de valoraciones fue:

- Composición Corporal con bioimpedancia (BIA) con Tanita MC-760MA.
- Perfil carga-velocidad, determinado con transductor de velocidad (pC-V)Chronojump®.
- Presión Inspiratoria Máxima (PIM), medida con Powerbreathe® KH2.
- Capacidad Funcional
- Hand Grip (HG)
- Standing Long Jump (SLJ)

Tanto las evaluaciones como las sesiones de entrenamiento se realizaron en instalaciones de la Escuela Central de Educación Física del Ejército en Toledo.

3.2 PERFILES DE CARGA – VELOCIDAD Y EVALUACIÓN NEUROMUSCULAR

Mediante la utilización del transductor lineal (Chronojump®), se realizaron perfiles de carga-velocidad (pC-V) mediante un test de carga incremental donde a cada sujeto se le solicita la movilización a la máxima velocidad voluntaria de cada carga, alcanzando como máximo 5 repeticiones por ejercicio e individuo. Entre ejecución y ejecución se establece un minuto de recuperación⁴. Este mismo procedimiento (mismos pesos y tiempos de descanso) se repitieron una vez acabado la fase de intervención.

3.3 EVALUACIÓN DE LA MUSCULATURA RESPIRATORIA

Para evaluar la musculatura inspiratoria de cada paciente, se lleva a cabo un protocolo que consta de una explicación teórica y demostración por parte de uno de los entrenadores antes de acometer la evaluación. Para hallar la presión inspiratoria máxima (PIM), se realizan varias repeticiones con un minuto de descanso entre ellas y un máximo de cinco intentos⁵. Se utilizó el dispositivo Powerbreathe® KH2.

3.4 MEDICIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

Para la correcta evaluación de la composición corporal mediante bioimpedancia (Tanita MC-760MA), se llevó a cabo el siguiente protocolo⁶.

- Al menos 4 horas sin ingerir ningún alimento

- Ingesta de dos vasos de agua una hora antes de la evaluación
- No tomar ninguna bebida alcohólica al menos 8 horas antes de la evaluación
- No haber practicado ejercicio físico como mínimo 8 horas antes
- Registrar a la hora del día en la que se hace la bioimpedancia
- Anotar la temperatura de la sala donde se realiza la medición

3.5 ENTRENAMIENTO FÍSICO

El programa de entrenamiento físico constó de 8 semanas y estuvo compuesto de 2 sesiones presenciales semanales (martes y jueves, alcanzando un número total de 16, con una duración de entre 45 y 75 minutos) y 3 no presenciales. El entrenamiento no presencial, tiene unos objetivos pautados e individualizados de intensidad y volumen, el programa consta de 24 sesiones no presenciales telemonitorizadas con una duración inicial de 30 minutos, incrementando el volumen progresivamente hasta los 60 minutos y con una intensidad inicial en zona 1 de entrenamiento (40-50% de la FC máxima en las semanas 1-4) en la primera fase y pasando a la zona 2 de entrenamiento en la segunda fase (45-55% de la FC máxima en las semanas 5-8). En cada sesión presencial los sujetos fueron supervisados por dos entrenadores experimentados, teniendo una ratio entrenador/paciente de 1:3. La estructura de cada sesión fue:

- Una fase de calentamiento y activación
- Un componente central
- Finalizando con ejercicios de flexibilidad/estiramientos y vuelta a la calma

La parte central tenía tres tareas separadas con pausas de 5' entre ellas, y eran:

- Entrenamiento Neuromuscular (ENM)
- Seguimiento de un protocolo interválico de alta intensidad (HIIT) de una segunda fase del programa de intervención (semana 4-8)
- Programa de ejercicios de la musculatura estabilizadora del tronco (*core*)

Tabla 2 del material adicional. Programación general del entrenamiento

FASE	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
ACONDICIONAMIENTO FÍSICO GENERAL	Z1	E. NEUROMUSCULAR	Z1	E. NEUROMUSCULAR	Z1	MUSC. RESP	DESCANSO
	MUSC. RESP	MUSC. RESP	MUSC. RESP	MUSC. RESP	MUSC. RESP	MUSC. RESP	
FASE ESPECÍFICA	Z2	E. NEUROMUSCULAR	Z2	E. NEUROMUSCULAR	Z2	MUSC. RESP	DESCANSO
	MUSC. RESP	HIIT	MUSC. RESP	HIIT	MUSC. RESP	MUSC. RESP	

Tabla 2 del material adicional. Programación general de entrenamiento. En la tabla se muestra el diseño general de una semana de entrenamiento durante las fases del programa de entrenamiento: acondicionamiento físico general (semanas 1-4) y específica (semanas 4-8). Z1, zona de entrenamiento 1 (40-50% de la frecuencia cardíaca máxima); Z2, zona de entrenamiento 2 (55-65% de la frecuencia cardíaca máxima); E. Neuromuscular, entrenamiento neuromuscular; Musc. Resp, entrenamiento de la musculatura respiratoria; HIIT, entrenamiento interválico de alta intensidad.

3.5.1 Entrenamiento Neuromuscular (ENM)

Los ejercicios de fuerza con sobrecarga elegidos para desarrollar este tipo de entrenamiento fueron la sentadilla (squad) en máquina, el press de banca y el jalón alto al pecho, todos los ejercicios fueron en máquina TELJU®. La ejecución de cada repetición exige a cada sujeto la realización a la máxima velocidad voluntaria, se permitió una pérdida de velocidad (VL) del 20 al 15%⁴. Durante la evaluación inicial, se estima el equivalente a una repetición máxima (1RM) de los tres ejercicios principales y para cada paciente, mediante la ecuación de regresión lineal de cada pC-V⁷. Se llevó a cabo la programación reflejada en la Tabla 3 del material adicional.

Tabla 3 del material adicional: Programación del Entrenamiento Neuromuscular (ENM)

Fases (semanas)	Carga (%1RM)	nº series	nº repeticiones	Recuperación Serie	VL
1-4	60-65	4	8	120"	20%
5-8	75-80	3	8	60"	15%

Tabla 3 del material adicional. Programación del entrenamiento neuromuscular. %1rm, % de la repetición máxima en una repetición; VL, pérdida de velocidad permitida.

3.5.2 Entrenamiento de la musculatura central (core)

El programa de ejercicios de la musculatura central tenía como objetivo el trabajo de compensación de posibles cadenas cinéticas débiles y en consecuencia la prevención de lesiones. Para ello se completó con ejercicios de resistencia muscular, potenciando el core,

mediante planchas isométricas (frontales y laterales) y dos ejercicios de flexión y flexo-rotación en posición supino, siguiendo la progresión de la Tabla 4 del material adicional.

Tabla 4 del material adicional: Entrenamiento de musculatura central (*core*)

Semanas de entrenamiento	nº series	nº repeticiones	Carga/Recuperación	Recuperación Serie
1-4	3	4	10"/30"	60"
4-8	4	4	20"/30"	45"

Tabla 4 del material adicional. Programación del entrenamiento de la musculatura central (CORE). Nº, número.

3.5.3 Entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT)

Se realizaba tras el entrenamiento de fuerza y previo a los ejercicios de *core*. Se eligieron dos ejercicios básicos, “step-up” y “step lateral”, realizados en plataforma de step Amaya® (110x42x20 cm). Se monitorizó la frecuencia cardiaca de trabajo de manera individualizada mediante dispositivos Garmin® Fururunner 45 siendo siempre superior al 90% de la FC_{max} de cada individuo. Las primeras semanas tuvieron como objetivo una adaptación física general y una familiarización con el entrenamiento y, por tanto, se decidió no intervenir con este tipo de entrenamiento debido al deterioro en la capacidad física y psicológica de los sujetos inicialmente.

Tabla 5 del material adicional.: Programación del entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT).

Semanas	Series	Intervalos/Serie	Carga/Recuperación	Recuperación Serie
3 y 4	3	4	20"/60"	60"
5 y 6	3	6	30"/60"	60"
7 y 8	3	8	40"/60"	60"

Tabla 5 del material adicional. Programación del entrenamiento interválico de alta intensidad

3.5.4. Entrenamiento Muscular Inspiratorio

Este tipo de entrenamiento incluía dos sesiones diarias (mañana y tarde) y seis días a la semana (de lunes a sábado) teniendo unas sesiones de familiarización con el equipo en el periodo de evaluaciones antes de comenzar la intervención. Cada una de las sesiones diarias consistió en 30 inspiraciones a través de un dispositivo asignado a cada sujeto (PowerBreathe Plus Deporte; PowerBreathe International Ltd. Southan, UK) con una resistencia equivalente al 50% de la PIM de cada paciente ⁸. Con el objetivo de adaptar y progresar en la carga de

entrenamiento de la PIM, los sujetos reportaban cuando alcanzaban 30 inspiraciones seguidas en 4 sesiones consecutivas.

3.5.5. Entrenamiento Aeróbico no presencial

El programa de entrenamiento contine 3 sesiones semanales de ejercicio aeróbico no presencial. Aunque se dejó la libertad para elegir cualquier tipo de ejercicio aeróbico, se aconsejó la marcha. El volumen de las sesiones tuvo un incremento del 50% a lo largo del programa, pasando de 30 a 60 minutos por sesión. La intensidad objetivó fue Z1 en las primeras sesiones y Z2 en las últimas. Todos los entrenamientos se realizaron con monitorización mediante pulsómetros Garmin® Furerunner 45, de forma, que permitía el análisis de los objetivos pautados tras la finalización de las sesiones de entrenamientos. La estructura del entrenamiento aeróbico no presencial se muestra en la tabla 6 del material adicional

Tabla 6 del material adicional. Programación Entrenamiento Aeróbico no presencial

Semanas	Intensidad	Tiempo total (‘)	Sesiones/Semana
1 y 2	Z1 (40-50%FCmax)	30’	3Sesiones/Semana
3 y 4	Z1(40-50%FCmax)	40’	3Sesiones/Semana
5 y 6	Z2(55-65%FCmax)	60’	3Sesiones/Semana
7 y 8	Z2(55-65%FCmax)	60’	3Sesiones/Semana

Tabla 7 del material adicional Programación del entrenamiento aeróbico telemonitorizado. Z1, entrenamiento en zona 1; Z2, entrenamiento en zona 2; FCmax, frecuencia cardíaca máxima.

4. BIBLIOGRAFÍA

1. Nalbandian A, Sehgal K, Gupta A, et al. Post-acute COVID-19 syndrome. *Nat Med.* 2021;27(4):601-615.
2. Koch B, Schäper C, Ittermann T, et al. Reference values for cardiopulmonary exercise testing in healthy volunteers: The SHIP study. *European Respiratory Journal.* 2009;33(2):389-397. doi:10.1183/09031936.00074208
3. Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1983;55(2):628-634. doi:10.1152/JAPPL.1983.55.2.628
4. González-Badillo JJ, Sánchez Medina L, Pareja Blanco F, Rodríguez Rosell D. *La Velocidad de Ejecución Como Referencia Para La Programación, Control y Evaluación Del Entrenamiento de Fuerza.* Ergotech; 2017.
5. Mora-Romero U, Gochicoa-Rangel L, Guerrero-Zúñiga S, et al. Presiones inspiratoria y espiratoria máximas: Recomendaciones y procedimiento. *Revisión Neumol Cir Torax.* 2014;73(4):247-253.
6. Alvero-Cruz JR, Correas Gómez L, Ronconi M, Fernández Vázquez R, Porta i Manzanido J. La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal, normas prácticas de utilización. *Rev Andal Med Deport.* 2011;4(4):167-174.
7. Hughes LJ, Banyard HG, Dempsey AR, Scott BR. Using a load-velocity relationship to predict one repetition maximum in free-weight exercise: A comparison of the different methods. *J Strength Cond Res.* 2019;33(9):2409-2419. doi:10.1519/JSC.0000000000002550
8. Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, Mckenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *Journal of Physiology.* 2007;584(3):1019-1028. doi:10.1113/jphysiol.2007.140855