



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ISSSTE  
Centro Médico Nacional "20 de Noviembre"**

**Título del trabajo:**

**Efecto del entrenamiento de fuerza muscular  
en pacientes con trastorno neuromotor  
secundario a enfermedad COVID-19.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
ESPECIALISTA EN MEDICINA (MEDICINA DE REHABILITACIÓN).**

**PRESENTA:**

**Dr. DANILO EZEQUIEL LOPEZ GARCIA**



**Dr. PAVEL LOEZA MAGAÑA – ASESOR DE TESIS.  
MEDICINA FÍSICA Y REHABILITACIÓN.**

**Dra. ILIANA LUCATERO LECONA – PROFESOR TITULAR.  
MEDICINA FÍSICA Y REHABILITACIÓN.**

**Ciudad de México. 11 de septiembre del 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

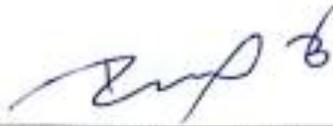
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Efecto del entrenamiento de fuerza muscular en pacientes con trastorno neuromotor secundario a enfermedad COVID-19.

Folio ISSSTE:  
197.2023.



Dra. Denisse Añorve Bailón  
Subdirector de Enseñanza e Investigación  
Centro Médico Nacional "20 de Noviembre"



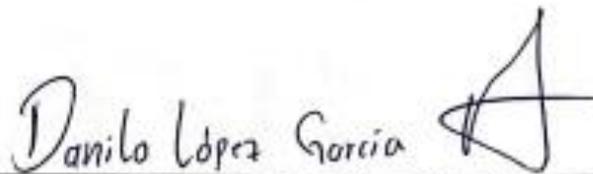
Dr. José Luis Aceves Chimal  
Coordinador de Enseñanza  
Centro Médico Nacional "20 de Noviembre"



Dra. Iliana Lucatero Lecona  
Profesor titular de la Especialidad en Medicina de Rehabilitación  
Centro Médico Nacional "20 de Noviembre"



Dr. Pavel Loeza Magaña  
Asesor de tesis.  
Centro Médico Nacional "20 de Noviembre"



Dr. Danilo Ezequiel López García  
Médico residente de la Especialidad en Medicina de Rehabilitación  
Centro Médico Nacional "20 de Noviembre"

## INDICE

Título del proyecto.....	1
Agradecimientos.....	4
Resumen.....	5
Abstrac.....	5
Abreviaturas.....	7
Introducción.....	8
Antecedentes.....	8
Metodología.....	12
Planteamiento del problema.....	12
Justificación.....	12
Hipótesis.....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Diseño y tipo de estudio.....	13
Población de estudio.....	13
Universo de trabajo.....	13
Criterios de inclusión.....	14
Criterios de exclusión.....	14
Criterio de eliminación.....	14
Muestreo no probabilístico.....	14
Descripción operacional de las variables.....	14
Metodología de la investigación.....	16
Aspectos éticos.....	17
Consideraciones de bioseguridad.....	17
Resultados.....	18
Discusión.....	21
Conclusión.....	22
Limitantes del estudio.....	22
Conflictos de interés.....	23
Referencias bibliográficas.....	24

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy infinitas gracias a Dios por brindarme tantas bendiciones, por permitirme terminar este proceso de mi vida y por rodearme de tantas personas maravillosas.

Gracias a mi madre por su amor infinito y por haberme guiado en cada paso que he dado en este largo camino, y a mis hermanos por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, porque sin ustedes nada hubiese sido posible.

Agradezco a mis maestros por sus grandes enseñanzas y lecciones de vida, por los valiosos consejos y correcciones.

Gracias a todas las personas que me apoyaron incondicionalmente en esta tierra tan lejos de casa, a esos amigos que se convirtieron en hermanos les doy infinitas gracias, los aprecio con todo el corazón.

## RESUMEN

**Introducción:** Los pacientes con infección COVID 19 muestran una reducción significativa de masa y fuerza del músculo esquelético secundario a inmovilidad, estado inflamatorio y estancia hospitalaria prolongada, traduciéndose en sarcopenia, debilidad muscular y disminución de funcionalidad global. Se realizó un programa de acondicionamiento físico en personas convalecientes de COVID-19 moderado a grave enfocado en el entrenamiento de fuerza. **Objetivo:** Evaluar el efecto del entrenamiento de fuerza muscular en pacientes con trastorno neuromotor secundario a enfermedad COVID-19. **Método:** Se realizó un estudio retrolectivo, descriptivo observacional, de revisión de expedientes de pacientes post COVID-19 que fueron captados por el servicio de medicina Física y Rehabilitación del Centro Médico Nacional 20 de noviembre entre 2020-2022. Se evaluó el entrenamiento de fuerza heterométrica en cadena cinética cerrada de tren superior con balón de 9 kilogramos (repetición máxima en press de banca), además de la resistencia a la fuerza isométrica en cadena cerrada de tren inferior (tiempo máximo de isometría en mini sentadilla). **Resultados:** Al inicio del protocolo de entrenamiento de encontró baja resistencia y tolerancia a la fuerza de tren superior e inferior secundario al desacondicionamiento físico provocado por el COVID-19; la evaluación final revela aumento del tiempo de isometría en mini sentadilla y elevación de la 1RM en tren superior ( $p < 0.05$ ) al igual que el aumento en número de repeticiones en press de banca. **Conclusiones:** Un programa de tele acondicionamiento físico enfocado en el entrenamiento de fuerza heterométrica en cadena cinética cerrada de miembros torácicos, así como en isometría de tren inferior es efectivo para los pacientes con enfermedad post COVID-19.

**Palabras clave:** COVID-19, fuerza, press de banca, mini sentadilla, 1RM.

## ABSTRACT

**Introduction:** Patients with COVID 19 infection show a significant reduction in muscle mass and strength secondary to immobility, inflammatory state and prolonged hospitalization; resulting in sarcopenia, muscle weakness and decreased global functionality. A physical conditioning program was carried out in people convalescent from COVID-19 focused on strength training. **Objective:** to evaluate the effect of muscle strength training in patients with neuromotor disorder secondary to COVID-19 disease. **Methods:** a retrolective, descriptive and observational study was carried out to review the files of post-COVID-19 patients who were recruited by the Physical Medicine and Rehabilitation service of the Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, between 2020-2022. Heterometric strength training was evaluated in a closed kinetic chain of the upper body with a 9-kilogram ball (maximal repetition in bench press) in addition to the resistance with isometric force in a closed chain of the lower body (maximum isometry time in mini squats). **Results:** at the beginning of the training protocol, low resistance and tolerance to upper and lower body strength were found secondary to physical deconditioning caused by COVID-19; the final evaluation reveals an increase in the isometry time in mini squats

and elevation of the 1RM in the upper body ( $p < 0.05$ ) as well as the increase in the number of repetitions in the bench press. **Conclusions:** A telefitness program focused on closed kinetic chain heterometric strength training of the thoracic limbs, as well as lower body isometrics, is effective for patients with post-COVID-19 disease.

**Keywords:** COVID-19, strength, bench press, mini squat, 1RM

## **ABREVIATURAS**

SARS-cov-2: Síndrome respiratorio agudo severo tipo-2

CoVs: Coronavirus

HCoVs: Coronavirus humano

PASC: Secuelas post agudas de COVID-19

ARN: Ácido ribonucleico

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

UCI: Unidad de cuidados intensivos

O<sub>2</sub>: Oxígeno

VO<sub>2</sub>max: Capacidad de oxígeno máximo

1RM: Repetición máxima

Hcovs: Coronavirus humanos

IL-6: interleucina-6

TNF- $\alpha$ : Factor de necrosis tumoral alfa

AST: Aspartato aminotransferasa

IFN- $\gamma$ : Interferón Gamma

IL-4: interleucina-4

Ig: Inmunoglobulinas

Vs: Versus

CMN: Centro Médico Nacional

DE: Desviación estándar

IMC: Índice de masa corporal

## **CAPITULO I. INTRODUCCION**

La enfermedad COVID-19, causada por el síndrome respiratorio agudo severo tipo-2 (SARS-CoV-2) ocasionó una emergencia pública internacional sanitaria (1). Los coronavirus (CoVs) son virus de ARN monocatenario pertenecientes a la familia "coronaviridae". Se denomina de esta manera debido a que presentan forma de corona con espículas en su superficie externa (2). Se propagan fácilmente entre seres humanos, mamíferos y pájaros causando enfermedades respiratorias, neurológicas, gastrointestinales y hepáticas. Actualmente se han identificado alrededor de 7 CoVs humanos (HCoVs) capaces de infectar la raza humana y causar una enfermedad con distintos grados de severidad, desde un cuadro leve similar a un resfriado común hasta uno severo o fatal (1).

El SARS-CoV-2 se caracteriza por afección del tracto respiratorio inferior que ocasiona neumonía y enfermedad respiratoria severa. Se consideró como una emergencia de salud pública internacional por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 30 de enero 2020 y en marzo del mismo año se declaró pandemia (1).

Existe una clara heterogeneidad en la presentación clínica de pacientes con enfermedad por coronavirus COVID-19. La mayoría de los de los pacientes con infecciones por COVID-19 son asintomáticos o sólo experimentan síntomas leves, no requieren hospitalización y se recuperan con relativa rapidez. Además, la mayoría de los de los pacientes con COVID-19 en formas más graves sobreviven a la hospitalización. Sin embargo, una proporción considerable de pacientes post COVID-19 padecen de síntomas persistentes, tales como fatiga e intolerancia al ejercicio. Recientemente, esta afección se ha denominado secuelas post-agudas de COVID-19 (PASC). A los 4-7 meses de la aparición inicial de COVID-19 en pacientes hospitalizados, los síntomas más comunes notificados en los pacientes con PASC fueron disnea, fatiga y debilidad muscular, cada uno de ellos observado en aproximadamente el 53-63% de los pacientes. Estos síntomas fueron más frecuentes en las mujeres y en los pacientes con mayor gravedad del episodio agudo de COVID-19 (2,3).

Los síntomas relacionados con el músculo esquelético son comunes tanto en COVID-19 agudo como en el PASC (secuelas post-agudas de Covid-19). Estos incluyen dolor muscular (mialgia), debilidad muscular (de leve a severa), fatiga e intolerancia al ejercicio. La mialgia y la artralgia también son síntomas persistentes comunes en los pacientes con PASC y son más notables en los pacientes que fueron colocados en posición prona durante la estancia en unidad cuidados intensivos (UCI) (3).

## **ANTECEDENTES**

Los pacientes ingresados en la UCI con COVID-19 muestran una reducción significativa de la masa y la fuerza del músculo esquelético a lo largo de su estancia en el hospital, se mostró una disminución del 30% del área de la sección transversal del recto femoral, del músculo cuádriceps de casi el 20% después de 10 días. Se observó debilidad en los

extensores de la rodilla y de los brazos del 75-85% de una cohorte de 41 pacientes previamente hospitalizados (40-88 años) que se recuperaban de COVID-19 (3). Algunos de los principales factores de riesgo de la debilidad muscular adquirida en cuidados intensivos son inflamación sistémica y la sepsis (3). Por otro lado, se ha demostrado que la disfunción mitocondrial puede desempeñar un papel importante en el deterioro de la función física observado en los pacientes con COVID-19. El deterioro de las mitocondrias musculares se presentó de forma frecuente, por tanto, la capacidad del músculo para utilizar el oxígeno (O<sub>2</sub>) se vio afectada. La causa principal de la reducción aguda de la capacidad de oxígeno máximo (VO<sub>2</sub>máx) durante el reposo en cama es una marcada reducción del gasto cardíaco, es decir, la capacidad disminuida de suministrar O<sub>2</sub> a los músculos que trabajan. (4)

Por lo tanto, no es sorprendente que los pacientes con COVID-19 con sarcopenia preexistente tardaran el doble de tiempo en ser dados de alta y tuvieran una tasa de mortalidad ocho veces mayor que los que no tenían sarcopenia. Aunque sigue sin estar claro si el virus del SARS-CoV-2 causa daño directamente a los músculos, la debilidad muscular es un síntoma clínico evidente en los pacientes con COVID-19. (2, 3,4)

El desuso muscular representa un importante factor de riesgo para los pacientes con COVID-19 que requieren cuidados intensivos y ventilación mecánica. La inactividad física o el desuso (forzado) alteran las propiedades contráctiles del músculo y la salud metabólica, lo que conduce a una mayor inactividad física y a un círculo vicioso. De Andrade-Junior et al. Observaron una reducción de 30% en la de la sección transversal del recto femoral en pacientes con COVID-19 después de 10 días, que es mayor que la observada tras el desuso solamente. Durante el desuso, la atrofia muscular aparece rápidamente y de forma de forma no lineal, con una disminución de la masa muscular del 5% a corto plazo (10 días) y de hasta un 20% a largo plazo (6 semanas). Esta pérdida de masa y tamaño muscular relacionada con el desuso es responsable del 80% de la disminución de la fuerza de los músculos extensores de la rodilla, y el 20% restante se debe a alteraciones cualitativas, como una menor tensión específica. Una menor capacidad de generar fuerza y potencia es en gran parte atribuible a una pérdida de material contráctil y a la disminución del área de la sección transversal de las fibras musculares individuales. Son sobre todo las fibras musculares de contracción rápida, de tipo II, son las que muestran más atrofia (3).

Esta atrofia específica de las fibras de tipo II provoca una mayor disminución de la potencia, lo que se observa en las actividades de la vida diaria más que una pérdida de fuerza per se. El desuso no sólo provoca una pérdida de masa muscular y fuerza, si no también induce alteraciones en el metabolismo que, en última instancia, se traducen en un aumento de la fatiga, intolerancia al ejercicio y un menor VO<sub>2</sub>máx. El reposo en cama a corto plazo provocó alteraciones en el suministro de oxígeno periférico y en las vías metabólicas, pero se desconocen la ubicación y la causa. Se ha observado una menor densidad mitocondrial y capacidad de fosforilación oxidativa tras una inactividad física prolongada. Los cambios inducidos por el uso en la morfología mitocondrial del músculo esquelético, como la fisión mitocondrial, alteraciones en la transcripción, traducción e

importación de proteínas mitocondriales, así como cambios en los perfiles de lípidos de la membrana, la emisión de especies reactivas de oxígeno y el deterioro del manejo del calcio puede ser la causa de la menor capacidad de fosforilación oxidativa (3,4). La alteración de la ultra estructura sarcomérica y la pérdida de miosina (miosinólisis) se observan en pacientes con COVID-19. La pérdida selectiva de miosina perjudica directamente el ciclo de puentes cruzados, la producción de fuerza y la tensión específica. Estas observaciones se asemejan a las observadas en la miopatía por enfermedad crítica enfermedad crítica, y son explicaciones celulares de la debilidad muscular en pacientes con COVID-19 (3,4).

Los niveles de creatina quinasa circulante están clásicamente elevados en COVID-19 hasta niveles comparables a los observados en la rabdomiólisis, lo que es indicativo de una rápida degradación del músculo esquelético. La activación del ubiquitina-proteasoma y la activación de la calpaína se han descrito como posibles contribuyentes a la proteólisis y atrofia observadas en los pacientes con enfermedad crítica, pero no está claro si en infección por COVID-19 también puede activar estas vías de forma independiente (3). En el contexto de la enfermedad por COVID-19 estudios epidemiológicos recientes han informado de una duración media de la estancia en el hospital de 20 días con una estancia media en la UCI de tres semanas. Esto parece importante porque el número de días de cama durante la hospitalización o la estancia en la UCI se considera hoy en día un factor predictivo del deterioro de las propiedades neuromusculares. Se ha demostrado que, en los jóvenes, un periodo de reposo en cama de tres semanas tiene un mayor impacto negativo en la capacidad funcional que 40 años de envejecimiento. Sorprendentemente, incluso un periodo corto de reposo absoluto (hasta 10 días) puede desencadenar el desgaste del músculo esquelético.

Kortebein et al. descubrieron una pérdida sustancial de fuerza y potencia muscular (extensión de la rodilla  $p = 0,004$  flexión de rodilla  $p = 0,003$  y potencia de subida de escaleras  $p = 0,01$ ) tras 10 días de reposo en cama en personas mayores sanas (60-85 años) (4). Las pautas de actividad física para estadounidenses, publicadas por el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, recomiendan al menos 150 a 300 minutos / semana de intensidad moderada, o 75 a 150 minutos / semana de actividad física aeróbica de intensidad vigorosa para los adultos, con un mínimo de 2 sesiones de fortalecimiento muscular por semana. Las personas mayores y las personas con enfermedades crónicas deben realizar programas multicomponentes que incluyen ejercicios aeróbicos, de fortalecimiento, de flexibilidad y de equilibrio. (5)

El ejercicio de alta intensidad ha demostrado un efecto benéfico sobre los factores inflamatorios en las condiciones de obesidad, con disminución en la interleucina-6 (IL-6), el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ) y la aspartato aminotransferasa (AST), disminución en la relación de interferón gamma/interleucina-4 (IFN- $\gamma$  / IL-4), aunque en otros estudios se encontró que el ejercicio intenso prolongado puede conducir a niveles más altos de mediadores inflamatorios y, por ende, el riesgo de lesiones e inflamación crónica. El factor de descanso adecuado en ejercicio moderado o vigoroso puede lograr el máximo beneficio. A este fenómeno se le conoce como la teoría de la "ventana abierta",

que hipotéticamente permitiría un aumento en la susceptibilidad a las enfermedades de las vías respiratorias superiores. Se ha concluido que el ejercicio de alta intensidad mal dosificado puede ser peligroso (especialmente en personas obesas) y ayudar a exacerbar el virus COVID-19. También se observa que la enfermedad COVID-19 puede ser asintomática en varios días y, por lo tanto, el ejercicio intenso de alta intensidad puede ser más peligroso sin supervisión (6).

Así mismo existe evidencia de los beneficios que tiene en el cuerpo el entrenamiento aeróbico, ya que el incremento de la capacidad aeróbica mejora los sistemas inmunitario y respiratorio, posiblemente a través de tres mecanismos: Incrementando el número y la función de las células inmunes (Linfocitos T particularmente) e inmunoglobulinas (Ig) IgA e IgG, regulando los niveles de proteína C reactiva (pro inflamatoria) y disminuyendo la ansiedad y la depresión; en segundo lugar, podría mejorar las funciones del sistema respiratorio, restaurando la elasticidad y la fuerza del tejido pulmonar normal; en tercer lugar, podría actuar como una barrera protectora para disminuir los factores de riesgo de COVID-19 (7). Es más que evidente el beneficio de la actividad física para el organismo, cobrando mayor importancia en pacientes que cursan una infección por COVID 19, incidiendo principalmente en la gravedad de la enfermedad y en la reducción de los tiempos de recuperación (8), por lo que es indispensable incluir dentro de los programas de rehabilitación la actividad física regular. La actividad física también mejora los resultados en personas mayores con enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, demencia y deterioro cognitivo (9).

Por lo que los programas de ejercicio deben incluir una combinación de fuerza, equilibrio y ejercicio aeróbico. La consulta o la derivación a especialistas en prescripción de ejercicios, como fisioterapeutas o fisiólogos del ejercicio, se pueden utilizar para proporcionar asesoramiento individualizado sobre un programa de ejercicios adaptado a las condiciones de salud, habilidades funcionales, entorno y preferencias y objetivos personales de una persona mayor (9). En algunos sistemas de salud, estas consultas se pueden hacer usando tele salud para reducir los riesgos asociados con el contacto cara a cara. Cuando las consultas de tele salud no están disponibles, los profesionales de la salud deben abogar por la inclusión de estos servicios para ayudar a las personas mayores a mantenerse activas (10).

Algunas estrategias simples que pueden promover el compromiso con el ejercicio pueden incluir planificar un momento para hacer ejercicio, consultar con un familiar o amigo acerca de sus planes de ejercicio y realizar un seguimiento del ejercicio utilizando un diario de ejercicios o un rastreador de actividad. La OMS y Organización Panamericana de la Salud (OPS) sugieren ofrecer servicios de tele salud (9, 10, 11,12) para las personas con síndrome post COVID-19, a través de llamada telefónica, mensajes de texto o videoconferencia a fin de proporcionarles atención de salud y apoyo. El uso de videoconferencia requiere conectividad a Internet estable, disponibilidad de tecnología tanto para el proveedor de rehabilitación como para el paciente, capacitación de la plataforma al paciente, familia y personal de salud y la disponibilidad de soporte técnico para solucionar problemas (12).

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **Planteamiento del problema**

Se sabe que las personas con COVID-19 presentan desacondicionamiento físico (1,2), ya sea por la respuesta inflamatoria sistémica o por estancias prolongadas en hospitales en los casos moderados a severos; de los pacientes internados en el Hospital Centro Médico Nacional “20 de noviembre”, un grupo grande ingresó a rehabilitación intrahospitalaria, a su egreso continuaron en seguimiento de rehabilitación domiciliaria vía telemedicina. Los pacientes quienes al término de la rehabilitación no presentaron secuelas graves, pero persistían con síntomas de desacondicionamiento físico, ingresaron a un programa llamado tele acondicionamiento, diseñado exprofeso para tratamiento individualizado. Este programa elaborado por el curso de alta especialidad de fisiología clínica del ejercicio, contempla una batería de pruebas físicas para determinar la capacidad funcional del paciente, la determinación de un programa de entrenamiento sin riesgo y realizables (reproducibles) a distancia, con la facilidad de evaluar y prescribir el ejercicio según la tolerancia, realizando una prueba inicial y una final para evaluar resultados.

Sin embargo, no se conoce el alcance logrado a través de este tratamiento, por lo que surge la siguiente pregunta científica:

¿Cuál fue el efecto de un entrenamiento de FUERZA, en personas con trastorno neuromotor secundario a enfermedad COVID-19?

### **Justificación**

La infección por COVID-19 afecta el sistema músculo esquelético de forma directa, esto se debe a la inactividad y al desuso muscular secundario al proceso inflamatorio y a la estancia hospitalaria, reflejado en reducción significativa de la masa y fuerza del músculo esquelético. Los síntomas relacionados pueden incluir dolor muscular (mialgia), debilidad muscular (de leve a severa), fatiga e intolerancia al ejercicio. La mialgia y la artralgia también son síntomas persistentes comunes en los pacientes con secuelas post agudas y son más notables en los pacientes que presentaron la forma grave (3).

El presente protocolo surge de la necesidad de estudiar el efecto del entrenamiento de fuerza muscular en paciente con trastorno neuromotor secundario a enfermedad COVID 19, motivo por el cual el servicio de Medicina Física y Rehabilitación implemento una estrategia terapéutica consistente en un programa de acondicionamiento de fuerza muscular en este grupo poblacional. Sin embargo, a la fecha no se ha evaluado el efecto ni alcance de dicha estrategia.

Por lo anterior se propone la presente investigación con la finalidad de conocer el impacto del entrenamiento de fuerza muscular en este grupo de pacientes y así poder determinar su inclusión como terapia estandarizada en este hospital.

## **Hipótesis**

La fuerza muscular de los pacientes con síndrome post COVID-19, mejorará a través de un programa de acondicionamiento físico.

## **Objetivo general**

Evaluar el efecto del entrenamiento de fuerza muscular en pacientes con trastorno neuromotor secundario a enfermedad COVID-19.

## **Objetivos específicos**

1. Conocer las mediciones iniciales y finales en las pruebas de resistencia a la fuerza en press de banca (tren superior) y mini sentadilla (tren inferior).
2. Describir los valores de carga externa (carga máxima heterométrica) en tren superior evaluada con press de banca al inicio y al término de un programa de acondicionamiento físico.
3. Describir los valores de carga externa (carga máxima isométrica) en tren inferior evaluada con mini sentadilla al inicio y al final de un programa de acondicionamiento físico.
4. Describir las modificaciones de la saturación de oxígeno tras la realización de la prueba de carga externa para tren inferior al término del programa.
5. Describir la modificación de la frecuencia cardiaca al término del programa.

## **Diseño y tipo de estudio**

Estudio retrospectivo, descriptivo, analítico.

## **Población de estudio**

Expedientes de pacientes que concluyeron telerehabilitación y que cumplieron con criterios físicos de seguridad, para realizar acondicionamiento físico vía telemedicina en el periodo comprendido entre julio del 2020 a diciembre del 2022.

## **Universo de trabajo**

Pacientes egresados del Centro Médico Nacional “20 de Noviembre” convalecientes de infección debida a SARS-Cov2 atendidos mediante tele rehabilitación en el servicio de Medicina Física y Rehabilitación, que concluyeron programa de terapia física satisfactoriamente.

### **Criterios de inclusión**

Expedientes de pacientes egresados de este Centro Médico Nacional “20 de Noviembre” convalecientes de COVID-19 moderado o severo, que hayan ingresado al programa de telerehabilitación brindado por el servicio de Medicina Física y Rehabilitación, concluyendo plan de terapia física Montefiore nivel 3; ingresaron a tele acondicionamiento aquellos pacientes que lograban realizar marcha y que presentaban fatiga, debilidad auto percibida, disnea de medianos esfuerzos y/o mialgias.

### **Criterios de exclusión**

No ingresaron los pacientes que presentaban de saturación de oxígeno en actividad menor al 89%, no presentaban datos de disautonomía, con o hipotensión postural, taquicardia espontánea o hipertensión arterial.

### **Criterios de eliminación**

Expedientes de pacientes que no hubieran realizado pruebas iniciales, aun habiendo cumplido criterios de ingreso a tele acondicionamiento.

### **Muestreo no probabilístico**

Se aplicará un muestreo no probabilístico por conveniencia de acuerdo con los criterios de inclusión.

En el servicio de Medicina Física y Rehabilitación contamos con 65 pacientes con trastorno neuromotor secundario a enfermedad COVID-19 que fueron sometidos a entrenamiento fuerza muscular, por lo que se incluyeron a todos los pacientes.

### **Descripción operacional de las variables**

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	CLASIFICACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Edad	Tiempo transcurrido desde el nacimiento a la fecha actual	Cuantitativa Discreta	Años
Sexo	Determinación genética de la persona por rasgos reproductivos	Cualitativo Dicotómica	Masculino Femenino

Peso	Fuerza que ejerce un cuerpo sobre un punto de apoyo, originada por la acción del campo gravitatorio local sobre la masa del cuerpo	Cuantitativa Continua	Kilogramos
Talla	Altura de una persona desde los pies a la cabeza	Cuantitativa Continua	Metros
Frecuencia cardiaca	Numero de latidos del corazón en un minuto,	Cuantitativa Discreta	Latidos por minuto
Saturación de oxígeno	Porcentaje de oxígeno vinculado con la hemoglobina de la sangre	Cuantitativa Continua	Porcentaje (%)
Acondicionamiento físico	Desarrollo de capacidades condicionales para mejorar el rendimiento físico a través del ejercicio	Independiente Nominal	No se reporta como medicion.
Fuerza (Repetición Máxima) en cadena cerrada de tren superior	Peso máximo que puede ser levantado en una única repetición	Dependiente Cuantitativa Continua	kilos
Repeticiones del tren superior	Número de veces que un peso es desplazado en rango de movilidad completo	Dependiente Cuantitativa Continua	Conteo
Resistencia a la fuerza isométrica en cadena cerrada de tren inferior	Capacidad de mantener una contracción estática máxima durante un periodo de tiempo	Dependiente Cuantitativa Continua	Segundos

## Metodología de la investigación

Se realizó la revisión de 65 expedientes de pacientes que fueron captados por medio de una base de datos hecha por parte del servicio de medicina Física y Rehabilitación del Centro Médico Nacional 20 de noviembre. Los pacientes que completaron de forma satisfactoria prueba inicial de tele acondicionamiento post COVID 19 entre 2020-2022 fueron seleccionados para el presente estudio. Se analizó los resultados del entrenamiento de fuerza heterométrica en cadena cinética cerrada de tren superior con balón de 9 kilogramos (repetición máxima en press de banca), además de la resistencia a la fuerza isométrica en cadena cerrada de tren inferior (tiempo máximo de isometría en mini sentadilla), dichos datos fueron registrados en los expedientes de pacientes para posterior análisis. Los parámetros estudiados fueron realizados de la siguiente manera:

1. 1RM tren superior en press de banca: Se realizó con un Garrafón de 10 litros de capacidad, llenado con 9 litros de agua, sobre una superficie lisa y estable (suelo, sillón, colchón, tapete de yoga, etc.) Se solicitó al paciente colocarse en decúbito supino, el familiar colocó el garrafón de 9 litros para que el paciente realizara una extensión y flexión de codo de forma bilateral completa, lenta y perpendicular al tronco el mayor número de veces que le fuera posible. Durante la realización de la prueba el evaluador y el familiar contabilizaron el número de repeticiones, se le pidió detenerse cuando éste presentara datos de fallo muscular o incapacidad para poder continuar. Una vez obtenida ésta información se recabaron los datos. Se suspendió la prueba en caso de presentar dolor en hombro, codo o muñeca que impida continuar, así como imposibilidad de mantener la técnica de ejecución (fallo muscular). Con los resultados obtenidos en esta prueba se realizó el cálculo de la repetición máxima (1RM):  $\text{Peso levantado} \times \# \text{ de repeticiones} \times 0.033 + \text{Peso levantado}$ . Cálculo de la carga de entrenamiento:  $\text{Repeticiones logradas} \times 0.8$

2. Resistencia a la fuerza con isometría en mini sentadilla: Se le solicitó al paciente realizar una semi-sentadilla (aproximadamente 90° de flexión de cadera y rodilla), los brazos se mantuvieron con flexión de hombro y codo, cruzados las manos se apoyan en sus codos, debiendo mantener esa posición el mayor tiempo que le sea posible. \*Variante: sentarse al borde de la silla, (misma postura de brazos), se le pedirá que haga el gesto de levantarse ligeramente, corroborando que la distancia entre la silla y los glúteos del paciente le permitan al familiar poder deslizar su mano sobre el asiento, y se pidió mantenerse en esa posición. El evaluador tomó el tiempo durante ese acto y junto con el familiar/cuidador vigiló que la técnica de realización sea adecuada. Dicha prueba se suspendió si el paciente expresa deseo de suspender la prueba por fatiga o imposibilidad de mantener la postura (fallo muscular). Se registró el tiempo en que se mantuvo la postura hasta que el paciente toleró o hubo falla muscular. Se registró el tiempo en segundos (Fuerza-resistencia), y la carga de entrenamiento fue:  $\text{tiempo máximo (s)} \times 0.8$ .

Posterior a las pruebas iniciales, el entrenamiento se llevó acabo con 2 sesiones por semana, supervisadas vía telemedicina, resto de la semana supervisadas por el familiar, por 4 semanas, con un tiempo estimado de 30 minutos por sesión, variando según las

cargas individualizadas. Al final del programa, se realizaron mediciones con el mismo procedimiento de las iniciales.

Los datos se recolectaron en una base en Excel para su procesamiento y análisis estadístico. Se utilizó el programa estadístico SPSS v28.0 para Windows.

### **Aspectos éticos**

El estudio se ajustará a los lineamientos establecidos por la Secretaría de Salud (**artículo 17 del reglamento de la ley general de salud en materia de investigación**). Considerando que se trata de un estudio retrospectivo y se analizará información del expediente clínico de los pacientes, no se solicitará firma de consentimiento informado. El presente protocolo de investigación fue sometido a evaluación por los comités de investigación, ética y bioseguridad del CMN "20 de Noviembre".

El estudio que se propone se ajustará a la buena práctica en investigación biomédica establecidos por la Secretaría de Salud y por la Institución, así como apego a los lineamientos establecidos en la declaración de Helsinki.

### **Consideraciones de bioseguridad**

El presente estudio se ajustará a los lineamientos establecidos en las disposiciones de la fracción 6.7 NOM-197-SSA1-2000, así como a la Norma oficial mexicana NOM-012-SSA3-2012, que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos.

Durante el protocolo no se generarán residuos biológicos. El estudio que se propone no contempla ningún riesgo de bioseguridad por ser únicamente revisión de expedientes clínicos.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se realizó un estudio retrospectivo, descriptivo y analítico, donde se revisaron 65 expedientes de pacientes que habían cursado con enfermedad COVID-19 moderada a grave entre 2020 a 2022, e ingresaron a un programa de tele acondicionamiento en el cual se evaluó una prueba inicial y final del test de press de banco y resistencia a la fuerza isometría en mini sentadilla. La descripción del flujograma de selección de pacientes se encuentra en la figura 1 y los detalles de la caracterización demográfica se agrupan en la tabla 1.

Figura 1. Flujograma de selección de pacientes

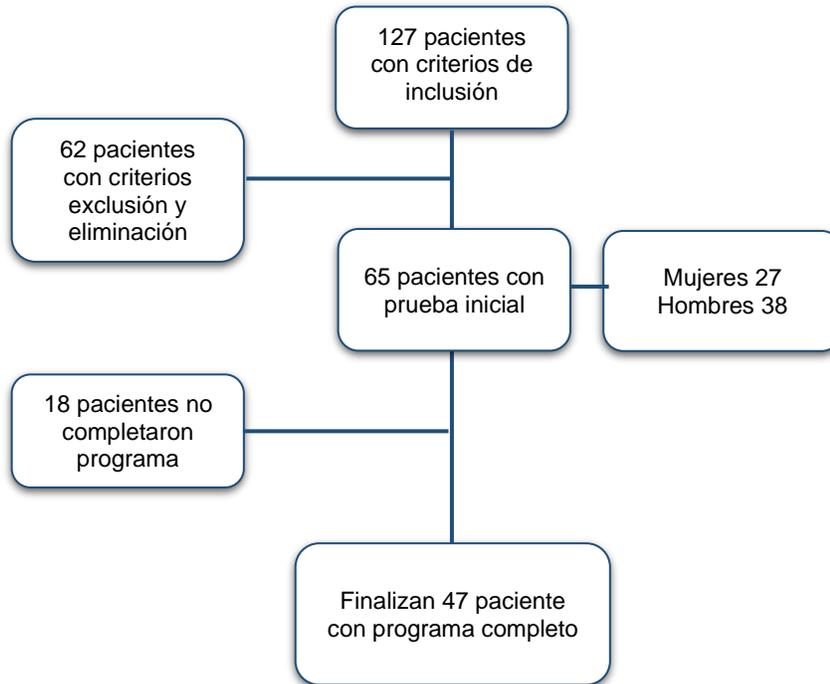


Tabla 1. Caracterización demográfica de población estudiada

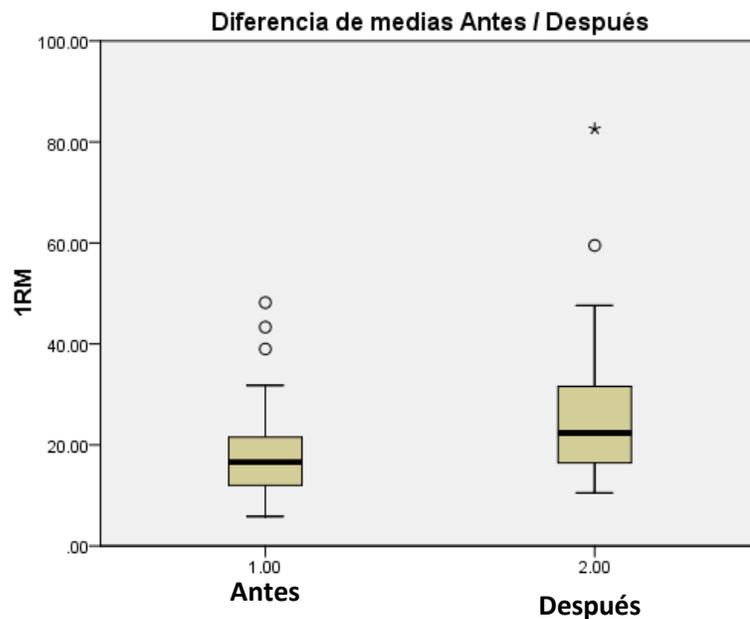
Variables	Total: 65 pacientes			
Sexo			Masculinos: 38 (58.46%) Femeninos: 27 (41.53%)	
	Media	Límite inferior	Límite superior	Desviación estándar
Edad (años)	49.72	18	72	± 12.91
Peso (kg)	78.18	47	110	± 13.18
Talla (cm)	165.44	142	185	± 9.46
IMC	28.56	20.34	47.61	± 4.41

kg: Kilogramos. cm: Centímetros. IMC: Índice de masa corporal.

El análisis estadístico se realizó mediante pruebas no paramétricas (U de Mann Whitney), comparando valores de prueba iniciales versus la prueba final en el test de press de banca, obteniendo los siguientes resultados:

En la prueba inicial se encontró una baja resistencia a la carga externa dado al bajo número de repeticiones realizadas y a los valores iniciales encontrados en la 1RM. Los hallazgos encontrados en la prueba final reportan una diferencia en términos de incremento de la resistencia a la fuerza derivada del aumento en el número de repeticiones, con un valor calculado de 1RM mayor; esto se traduce en una elevación importante del valor de la fuerza-resistencia en el tren superior (Figura 2). El comportamiento de los datos estudiados se agrupa en la tabla 2.

Figura 2. Diferencias antes y después del entrenamiento, en los valores de fuerza.



1RM: Repetición máxima. Diferencias de medias denota cambio de distribución al término del programa de acondicionamiento.

Tabla 2. Resultados de prueba inicial vs prueba final en press de banca (Tren superior).

Variables	Prueba inicial N: 65	DE	Prueba final N: 47	DE	Valor-P	□t	IC95%
Kg levantados	8.88	±1.28	9.23	±0.42	0.022*	-0.34	-0.69/-0.008
Repeticiones	31.61	±26.70	54.25	±42.52	0.001*	-22.63	-36.65/-0.62
1RM	18.18	±8.40	26.00	±13.95	<0.005*	-7.81	-12.3/-3.25

N: Número de pacientes. DE: Desviación estándar. □t: Diferencias de medias. IC: Intervalo de confianza. kg: Kilogramos. 1RM: Máximo de una repetición. sg: Segundos. FC: Frecuencia cardíaca. \*Estadísticamente significativo de acuerdo a U Mann Whitney.

Las pruebas de resistencia a la fuerza isométrica en mini sentadilla indican que, al inicio de las mismas, el grupo de estudio presentaba baja tolerancia, evidenciada por un corto tiempo en segundos, en el cual los pacientes mantuvieron la prueba, sin embargo, en los resultados finales se observa un aumento del tiempo de isometría (Figura 3), que se transcribe como mejoría de la tolerancia a la carga de tren inferior, sin evidenciarse un incremento de la reserva cardiaca entre dichas pruebas. Los valores numéricos se presentan en la tabla 3.

Figura 3. Comparación antes y después del entrenamiento de resistencia isométrica en mini sentadilla.

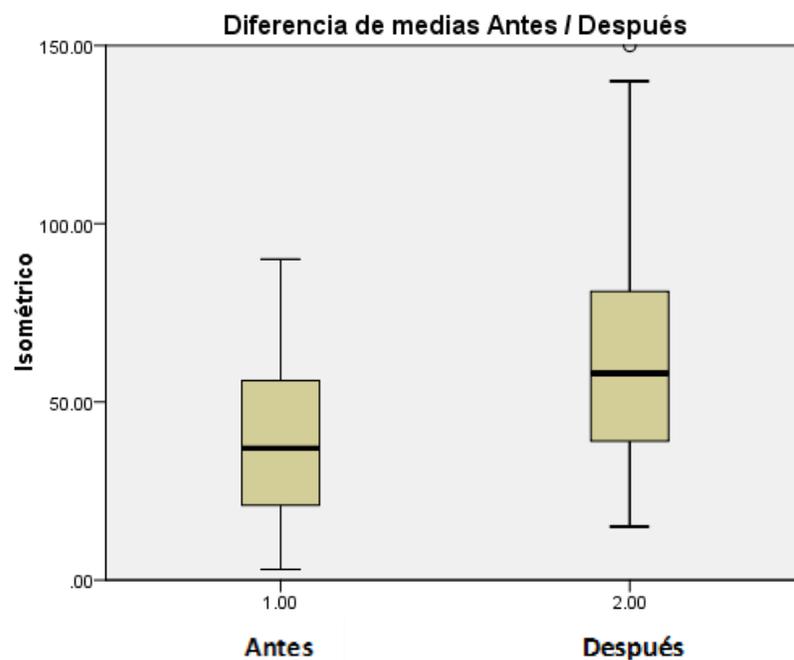


Tabla 3. Resultados del comportamiento entre prueba inicial vs prueba final en mini sentadilla isométrica.

Variables	Prueba inicial N: 65	DE	Prueba final N: 47	DE	Valor-P	□t	IC95%
Isometría (tiempo en sg)	39.41	±22.31	62.25	±29.92	<0.005*	-22.8	-33.1/-12.5
FC	108.20	±13.57	113.42	±16.07	0.138	-5.22	-10.96/0.51
SatO2	92.81	±2.79	93.34	±2.63	0.359	-0.52	-1.55/0.50

N: Número de pacientes. DE: Desviación estándar. □t: Diferencias de medias. IC: Intervalo de confianza. Kg: Kilogramos. 1RM: Máximo de una repetición. Sg: Segundos. FC: Frecuencia cardiaca. SatO2: Saturación de oxígeno. \* Estadísticamente significativo.

## DISCUSIÓN

Los pacientes convalecientes de enfermedad COVID-19 pueden desarrollar disfunciones en casi todos los órganos y sistemas, con persistencia de diferentes signos y síntomas, siendo uno de los principales la debilidad y la fatiga. La complejidad y variabilidad de los daños causados por esta enfermedad pueden dificultar la prescripción de programas de rehabilitación, siendo necesario establecer protocolos específicos y seguros para el entrenamiento de fuerza, adaptándose a las individualidades de cada uno de los pacientes.

A pesar de que se han descrito distintas pruebas para evaluar la 1RM en press de banca (13) y la resistencia a la fuerza isométrica en mini sentadilla (14), la mayoría de estudios se han descrito en población sana, encontrando solamente, algunas variaciones para el entrenamiento en press en paciente con sintomatología post COVID-19.

En el presente estudio se observó que los pacientes posterior a presentar enfermedad COVID-19 moderado o grave, presentan baja resistencia-tolerancia a la fuerza heterométrica en cadena cinética cerrada para miembros torácicos, al igual que en la carga máxima isométrica de tren inferior, tal como Tenforde et al. demostraron en su estudio en 2022, que describe que esta población presentan limitaciones funcionales sustanciales causadas por sintomatología persistente como fatiga (82%), disnea (59%), deterioro neurocognitivo (56,4%) y debilidad muscular de extremidades (55,5%) (15).

Si bien el hallazgo principal de este estudio indica que tras 4 semanas de entrenamiento de fuerza de tren superior a través de un programa de tele acondicionamiento, se evidencian mejorías significativas en los valores de la 1RM y aumento del número de repeticiones realizadas, estos datos se correlacionan con el estudio publicado por Jimeno et al. en 2022 (16), donde incluyen a 39 pacientes con afección funcional posterior a enfermedad COVID-19 con persistencia de sintomatología, estos pacientes fueron asignados al azar: 1 grupo control que siguió las pautas de la OMS para rehabilitación después de COVID-19 (n:19) y 2 grupo (n:18) que llevó un programa de ejercicios multicomponentes personalizado (entrenamiento de fuerza muscular, entrenamiento cardiovascular), se realizó test de carga submáxima progresiva para el press de pecho con una carga inicial de 5 kg aumentado progresivamente hasta alcanzar el objetivo correspondiente al 50% de 1RM, el entrenamiento se realizó 3 series de 8 repeticiones, 2 veces por semana por 8 semanas, registrando mediciones de velocidad de ejecución de la carga ( $m \cdot s^{-1}$ ) y comparándolas antes y después de la intervención. Al finalizar un programa de entrenamiento los autores reportan una mejoría en los parámetros de estimación funcional de la fuerza (1RM), aumento en la velocidad de ejecución de la carga en ( $m \cdot s^{-1}$ ) ( $p \leq 0,005$ ) y reducción de percepción de fatiga, sin embargo, este estudio se diferencia de nuestra investigación ya que la medición que realizamos para esta test se llevó a cabo con un peso estandarizado, y en base a las repeticiones realizadas se estimó la 1RM con un error estándar alto por el elevado número de repeticiones además el entrenamiento fue de alta intensidad (80% del 1RM calculado), sin embargo a pesar de las distintas formas de entrenamiento el resultado final de ambos estudios es muy similar.

Así mismo una revisión sistemática realizada por Ahmadi et al. publicada en 2022 (17) concluye, que los programas compuestos por ejercicios de fuerza para press de banca (p. ej., 1 a 2 series de 8 a 10 repeticiones al 30 a 80 % de 1 RM) junto con

ejercicio aeróbico (p. ej., de 5 a 30 min a intensidad moderada) parecen ser factibles para la rehabilitación de pacientes post COVID-19, sin embargo, el ejercicio deberá ser personalizado, y cumplir con criterios específicos de ingreso para reducir riesgos.

En cuanto a la prueba de resistencia a la fuerza en mini sentadilla, no existe en la actualidad un estudio que demuestre el impacto cuantitativo de una intervención tras la infección por COVID-19, sin embargo, en el metanálisis realizado por Drake et al 2017 (18) indica que la sentadilla isométrica es una prueba válida para evaluar la fuerza multiarticular de tren inferior y puede discriminar entre un rendimiento fuerte y débil de 1RM en sentadilla, además puede determinar la capacidad de respuesta de un individuo a un programa de entrenamiento o el nivel actual de acondicionamiento en el que se encuentra. Si bien no hay estudios con esta intervención en relación a post COVID-19, nuestra investigación denota una diferencia en términos de incremento de la resistencia a la fuerza de tren inferior, derivada del aumento en el número de segundos al realizar la prueba de mini sentadilla, que se interpreta como mejora de la resistencia, que pudiera deberse a adaptaciones neuromusculares o metabólicas.

Por lo anterior, los resultados encontrados apoyan la hipótesis alterna de que la fuerza de las personas con síndrome post COVID-19, mejora a través de un programa de acondicionamiento físico enfocado a la expresión de fuerza, el cual es seguro, fácilmente reproducible en el hogar y con materiales de bajo costo.

## **LIMITANTES DEL ESTUDIO**

La principal limitación del presente estudio fue que las mediciones del tren superior se realizaron con baja carga, lo que ocasiona menor precisión en la determinación de la 1RM; además de la imposibilidad de medir con electromiografía de superficie o por laboratorio, las adaptaciones logradas a nivel neuromuscular.

## **CONCLUSIONES**

El programa de tele acondicionamiento utilizado en este estudio y que esta enfocado al entrenamiento de fuerza heterométrica en cadena cinética cerrada de miembros torácicos, así como en isometría de tren inferior es efectivo para los pacientes con enfermedad post COVID-19.

La prueba de press de banca y la mini sentadilla isométrica son pruebas de fácil realización, replicables y seguras para los pacientes que cursaron con COVID-19, además aportan información importante del estado general y del acondicionamiento actual del paciente, el cual se podría ser implementado fácilmente en otras instalaciones.

## **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran que no tienen intereses económicos en competencia o relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo informado en este documento

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ganesh B, Rajakumar T, Malathi M, Manikandan N, Nagaraj J, Santhakumar A, et al. Epidemiology and pathobiology of SARS-CoV-2 (COVID-19) in comparison with SARS, MERS: An updated overview of current knowledge and future perspectives. *Clin Epidemiol Glob Heal.* 2021;10:100694. doi: 10.1016/j.cegh.2020.100694.
2. Sallis R, Young DR, Tartof SY, Sallis F, Sall J, II Q, et al. Physical inactivity is associated with a higher risk for severe COVID-19 outcomes: a study in 48440 adult patients. *Br J Sports Med.* 2021;55(19):1099-1105. doi: 10.1136/bjsports-2021-104080.
3. Said C, Batchelor F, Duque G. Physical activity and exercise for older people during and after the COVID-19 pandemic: A path to recovery. *J Am Med Dir Assoc.* 2020 Jul; 21(7):977–79. doi:10.1016/j.jamda.2020.06.001.
4. Soares N, Eggelbusch M, Naddaf E, Gerrits K, Van der Schaaf M, Van den Borst B, et al. Skeletal muscle alterations in patients with acute Covid-19 and post-acute sequelae of Covid-19. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2022;13(1):11-22.
5. Sagarra L, Viñas A. COVID-19: Short and Long-Term Effects of Hospitalization on Muscular Weakness in the Elderly. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(23):8715. doi:10.3390/ijerph17238715.
6. Rodríguez M, Crespo I, Olmedillas H. Exercising in times of COVID-19: what do experts recommend doing within four walls? *Rev Esp Cardiol.* 2020;73(7):527–29. doi: 10.1016/j.rec.2020.04.001
7. Rahmati-Ahmadabad S, Hosseini F. Exercise against SARS-CoV-2 (COVID-19): Does workout intensity matter? *Obes Med.* 2020;19:100245. doi:10.1016/j.obmed.2020.100245.
8. Mohamed A, Alawna M. Role of increasing the aerobic capacity on improving the function of immune and respiratory systems in patients with coronavirus (COVID-19): A review. *Diabetes Metab Syndr.* 2020;14(4):489-96. doi: 10.1016/j.dsx.2020.04.038.
9. Bettger J, Thoumi A, Markevich V, De Groote W, Battistella L, Imamura M, et al. COVID-19: maintaining essential rehabilitation services across the care continuum. *BMJ Glob Health* 2020;5(5):e002670. doi:10.1136/bmjgh-2020-002670.
10. Evans R, Hamish M, Harrison E, Shikotra A, Singapuri A, Sereno M, et al. Physical, cognitive, and mental health impacts of COVID-19 after hospitalisation (PHOSP-COVID): a UK multicentre, prospective cohort study. *Lancet.* 2021;11:1275–87. doi: 10.1016/S2213-2600(21)00383-0

11. Organización Mundial de la Salud, Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud CIF, OMS, Ginebra, 2001.
12. De Andrade M, De Salles I, De Brito C, Pastore L, Righetti R, Yamaguti W. Skeletal muscle wasting and function impairment in intensive care patients with severe COVID-19. *Front Physiol.* 2021;11(12):640973. doi: 10.3389/fphys.2021.640973
13. Mayhew L, Johnson D, LaMonte J, Lauber, D, Kemmler W. Accuracy of Prediction Equations for Determining One Repetition Maximum Bench Press in Women Before and After Resistance Training. *J Strength Cond Res.* 2008;22(5):1570-7. doi: 10.1519/JSC.0b013e31817b02ad.
14. Drake D, Kennedy R, Wallace E. Familiarization, validity and smallest detectable difference of the isometric squat test in evaluating maximal strength. *J Sports Sci.* 2018;36(18):2087-2095. doi: 10.1080/02640414.2018.1436857.
15. Tenforde M, Kim S, Lindsell C, Rose E, Shapiro N, Files D, et al. Symptom duration and risk factors for delayed return to usual health among outpatients with COVID-19 in a multistate health care systems network — United States, March–June 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2022;69(30):993-998. doi: 10.15585/mmwr.mm6930e1.
16. Jimeno A, Franco F, Buendía Á, Martínez A, Sánchez J, Sánchez B, et al. Rehabilitation for post-COVID-19 condition through a supervised exercise intervention: A randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports.* 2022;32(12):1791-1801. doi: 10.1111/sms.14240. Epub 2022 Sep 23.
17. Ahmadi A, Ferreira J, Shahrbanian S, Suzuki K. Functional and Psychological Changes after Exercise Training in Post-COVID-19 Patients Discharged from the Hospital: A PRISMA-Compliant Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(4):2290. doi: 10.3390/ijerph19042290.
18. Drake D, Kennedy R, Wallace E. The Validity and Responsiveness of Isometric Lower Body Multi-Joint Tests of Muscular Strength: a Systematic Review. *Sports Med Open.* 2017;3(1):23. doi: 10.1186/s40798-017-0091-2.