

RESPUESTA AGUDA AL EJERCICIO SUBMÁXIMO EN MINEROS HIPERTENSOS Y NORMOTENSOS EXPUESTOS A HIPOBARIA INTERMITENTE CRÓNICA

ACUTE RESPONSE TO SUBMAXIMAL EXERCISE IN MINERS HYPERTENSIVES AND NORMOTENSIVES EXPOSED TO CHRONIC INTERMITTENT HYPOBARIA

Valeria Alexandra Páez-Ramírez*

Gianfranco Parati**

Grzegorz Bilo***

Morin Lang-Tapia****

Resumen: En Chile, el 80% de las mineras se ubican en gran altitud, debido esto, utilizan como modalidad laboral turnos rotativos, donde el sujeto trabaja a gran altitud y descansa a nivel del mar, a lo que se denomina hipobaría intermitente crónica. Los efectos de este tipo de exposición en la respuesta al ejercicio submáximo han sido poco investigados. El objetivo de este trabajo fue explorar la respuesta aguda al ejercicio submáximo a través de test de marcha de seis minutos en trabajadores mineros con y sin hipertensión expuestos a hipobaría intermitente crónica. Participaron 19 trabajadores hipertensos (edad $50,5 \pm 6,6$ años) y 19 controles (edad $45,7 \pm 6,2$ años); 38 participantes completaron el test de marcha de 6 minutos a 3.870 metros sobre el nivel del mar. No se observaron diferencias significativas en la distancia del test de marcha de 6 minutos comparando nivel de mar y gran altitud en ambos grupos. La presión arterial sistólica, diastólica y la frecuencia cardíaca mostraron un aumento respecto al nivel del mar ($p < 0,01$) en ambos grupos. La presión arterial sistólica y la presión arterial diastólica en reposo obtuvo valores significativamente más altos en el grupo hipertensos que en el grupo controles en gran altitud ($p < 0,001$). La presión arterial sistólica al final del ejercicio, aumentó en ambos grupos respecto al reposo ($p < 0,005$). La respuesta aguda al ejercicio submáximo en trabajadores mineros chilenos expuestos a hipobaría intermitente crónica, muestra que el rendimiento submáximo bajo exposición aguda no se redujo en comparación con nivel del mar, ya sea grupo controles o hipertensos. Sin embargo, los valores de presión arterial sistólica antes y después del ejercicio fueron más altos en el grupo hipertensos.

Palabras clave: Test de marcha de 6 minutos, ejercicio, hipoxia, gran altitud.

*Departamento de Ciencias de Rehabilitación y Movimiento Humano, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad de Antofagasta. Antofagasta, Chile. Correo electrónico: valeria.paez@ua.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2111-8759>. Autor de correspondencia.

**Department of Medicine and Surgery, University of Milano-Bicocca. Department of Cardiology, Istituto Auxologico Italiano, Istituto di Ricerca e Cura a Carattere Scientifico (IRCCS). Milan, Italy. Correo electrónico: gianfranco.parati@unimib.it. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9402-7439>

***Department of Medicine and Surgery, University of Milano-Bicocca. Department of Cardiology, Istituto Auxologico Italiano, Istituto di Ricerca e Cura a Carattere Scientifico (IRCCS). Milan, Italy. Correo electrónico: g.bilo@auxologico.it. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5104-9176>

****Departamento de Ciencias de Rehabilitación y Movimiento Humano, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad de Antofagasta. Antofagasta, Chile. Correo electrónico: morin.lang@uantof.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8465-5471>

Abstract: In Chile, the 80% the mining company are located at high altitude, because of this, use as work mode “the rotating shifts system”, the subject work at high altitude and rest well at sea level, it is defined as chronic intermittent hypobaric. The effects of this type of exposure on the response to the submaximal exercise has been little investigated. The objective of this project was to explore the acute response to the submaximal exercise through the six-minute walk test in mining workers with and without hypertension exposed to chronic intermittent hypobaric. Participated 19 hypertensive workers (age $50,5 \pm 6,6$ years) an 19 controls workers (age $45,7 \pm 6,2$ years); 38 participants completed the six-minute walk test at high altitude (3.870 metres above sea level). In both groups no was observed difference significative in distance of six-minute walk test at high altitude with respect to sea level. Systolic blood pressure, diastolic blood pressure and heart rate an increase in high altitude respect to sea level ($p < 0,01$) in both groups. Systolic blood pressure and diastolic blood pressure at rest increased significant in hypertensive workers respecto to controls workers ($p < 0,001$). Systolic blood pressure at the end of six-minute walk test ($p < 0,005$) increased in both groups. The acute response to submaximal exercise in Chilean workers exposed to chronic intermittent hypobaric not was observed difference significative in performance in high altitude respecto to sea level, for hypertensive workers or controls workers. However, the systolic blood pressure rest and end to submaximal exercise was increases in hypertensive workers.

Keywords: Six-minute walk test, exercise, hypoxia, high altitude.

Recepción: 10.12.2021 / Revisión: 17.03.2022 / Aceptación: 19.04.2022

Introducción

En Chile, debido a la geografía montañosa del país, una gran diversidad de actividades se realiza a gran altitud (GA), es decir, entre altitudes ≥ 3.000 y < 5.500 msnm. Entre ellas, se destaca la minería, considerando que según la Sociedad Nacional de Minería de Chile (SONAMI) alrededor del 80% de las mineras en Chile se ubican en GA (SONAMI, 2019). El área minera, utiliza como modalidad laboral el sistema de turnos rotativos, donde el sujeto trabaja a GA y descansa a baja altitud (BA, 500-2.000 msnm) o nivel del mar (NM, < 500 m) por un tiempo proporcional al trabajado, lo que en Chile según el Ministerio de Salud (MINSAL) se ha denominado hipobaría intermitente crónica (HIC) (MISAL, 2013).

Los efectos de la exposición a HIC en la capacidad funcional han sido poco investigados, y su relación con la respuesta al ejercicio submáximo es limitada. Los escasos estudios que exploran este ejercicio en GA sólo se basan en exposición aguda o crónica, estos estudios utilizan este tipo de test como herramienta para la evaluación de la capacidad física y la exploración de las variables hemodinámicas al ejercicio debido su fácil aplicación, bajo costo y seguridad para el paciente (Lazio et al., 2010; Vona et al., 2006). Entre ellos, el test de marcha de seis minutos (TM6M) se considera una herramienta válida en altitud para exposiciones agudas en adultos (Lazio et al., 2010), en pacientes con disfunción isquémica del ventrículo izquierdo (Vona et al., 2006) y en hipertensos con y sin tratamiento farmacológico (Lang et al., 2016).

Cualquier ejercicio que se realice en altura geográfica, generará una mayor intensidad de ejercicio relativo comparada con el NM, debido a un desequilibrio de la homeostasis del

organismo generado por la hipoxia hipobárica (Mazzeo, 2008). Es sabido, que en exposición aguda a GA, se reduce el rendimiento al ejercicio submáximo, debido a una menor presión inspirada de oxígeno (PIO_2), cuyo efecto principal es la caída del contenido arterial de oxígeno (CaO_2) y su disponibilidad en los tejidos, lo que se puede evidenciar en la disminución en la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) medida por oximetría de pulso, lo que se ha registrado en estudios que han sido realizados durante las primeras 24 horas de exposición (Buskirk et al., 1967; Beall, 2007; Grocott et al., 2009). La llegada inmediata a la altitud, se caracteriza por un aumento brusco de la actividad simpática, producto de un aumento de la actividad del quimio-receptor periférico, debido a la caída de presión arterial de oxígeno (PaO_2), es decir, la hipoxemia y posterior hipoxia causada por la menor PIO_2 (Luks, 2015). Esto se manifiesta, durante una misma carga de trabajo submáxima en altitud en comparación con el NM, con un mayor gasto cardíaco (GC) y flujo sanguíneo en la musculatura demandante. Estos dos mecanismos, compensan la reducción PaO_2 , permitiendo mantener un nivel O_2 transportado asimismo utilizado por la musculatura en actividad similar entre el NM y la altitud. El aumento del GC en altitud, se logra mediante el incremento de uno de sus componentes, la frecuencia cardíaca (FC), lo que es evidente en la exposición aguda. Este aumento de la FC, se manifiesta tanto en reposo como durante el ejercicio submáximo y entre los principales mecanismos que la provocan se destacan: La estimulación de los receptores β_1 adrenérgicos del miocardio por parte del sistema nervioso simpático (SNS) que se encuentra incrementado, el aumento de la adrenalina circulante y una posible disminución parcial de la actividad del sistema nervioso parasimpático (SNP) (Mazzeo, 2008). La elevación de la actividad del SNS persiste durante la primera semana de exposición a altitud, lo que provoca un aumento progresivo de la resistencia vascular periférica (RVP) y, en consecuencia, de la presión arterial media (PAM), lo que podría ser un factor importante a considerar en poblaciones cardíacas crónicas (Mazzeo, 2008).

Sin embargo, con la permanencia en altitud (1-3 semanas), se genera una aclimatación, que provoca un menor GC relacionado con la atenuación de la respuesta cardíaca por un posible predominio modulador parasimpático y al aumento de los glóbulos rojos, lo que podría mejorar el rendimiento ante el ejercicio submáximo. Para cuantificar este efecto, se realizó un estudio en 29 sujetos de ambos sexos (edad=22,2±15,4 años) se aplicó el TM6M a 3.400 msnm en diferentes tiempos de exposición: 1,75 (H1), 5,75 (H2) y 8,75 (H3) días. Se observó la aclimatación a través de la disminución significativa de la FC reposo comparando H1 con H2 y H3 obtenido el menor valor en H3 ($p<0,05$); Asimismo, la SaO_2 aumentó en H2 respecto a H1 ($p<0,05$). Sin embargo, la FC final, la SaO_2 final y el rendimiento en el test, no tuvieron diferencias significativas entre los tres tiempos de exposición (Gibson et al., 2015). Por lo tanto, la respuesta al ejercicio submáximo, varía en función del tiempo de exposición a altitud, modificándose en ese estudio las variables hemodinámicas sin cambio aparente en el rendimiento. Otros estudios, observan que aún después de una aclimatación en exposición crónica continua, el VO_{2max} todavía se encuentra reducido en GA, respecto a nivel del mar, a pesar de un aumento significativo de CaO_2 durante el ejercicio. Sin embargo, los mecanismos que participan en esto, aún no están claros (Mazzeo, 2008). En cuanto a la exposición a HIC, se ha demostrado que la capacidad aeróbica máxima tiende a disminuir en GA con un suministro de O_2 mantenido, probablemente por una mayor concentración de hemoglobina con la permanencia en HIC (Moraga et al., 2019). Respecto al ejercicio aeróbico submáximo

en exposición HIC, se desconoce el comportamiento de las variables hemodinámicas.

Por otro lado, la respuesta hemodinámica durante el ejercicio submáximo puede variar con el padecimiento de afecciones cardiovasculares, como la hipertensión arterial (HTA) caracterizada por un aumento de la actividad simpática, según la Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO) esta enfermedad crónica está presente en un 13,8% de la población minera en turnos 7x7 de Chile para el año 2017 (2018). Algunos estudios en los cuales los pacientes hipertensos realizan ejercicio físico, describen el aumento de la presión arterial sistólica (PAS) inducida por el esfuerzo físico como la variable de eficacia primaria de los tratamientos antihipertensivos, puesto que se ha demostrado que los tratamientos antihipertensivos eficaces reducen significativamente la PAS en todas las etapas durante el ejercicio. Sin embargo, las diferencias observadas entre los grupos de medicamentos son limitadas, a menudo por la validez interna de los estudios (Irigoyen et al., 2015). En el estudio de Lang et al. (2016) se aplicó ejercicio submáximo mediante el TM6M en 89 sujetos hipertensos de ambos géneros, 49 en tratamiento y 42 con placebo, a 3.260 msnm en exposición aguda a altitud (edad=52,2±9,5 años), y se observó que el aumento de la PAS debido a la exposición a la hipoxia que se agudiza al realizar ejercicio, fue atenuado por el tratamiento farmacológico antihipertensivo combinado, lo cual se reflejó en una PAS final del ejercicio menor en comparación con el grupo placebo, esta protección no interferiría con el rendimiento en altitud. La PAD desde el reposo hasta el final del test, no tuvo diferencia significativa entre los grupos, respuesta normal a este tipo de esfuerzo. En cuanto al comportamiento de la PA en exposición a HIC, la información es muy escasa, en el estudio de Vinnikov et al. (2016), exploraron el efecto de la exposición a HIC durante 1 año sobre la PA en 472 trabajadores mineros de ambos géneros a 4.000 msnm (edad=34,1±7,8 años). La PAS y PAD se redujeron ($p < 0,01$), mientras mayor era la PA basal mayor fue la disminución después de 1 año de exposición. Este estudio, observó que al menos 6 meses de exposición a HIC durante 1 año puede no conducir al aumento de la PA, resultado que concuerda con los pocos estudios disponibles donde la PA muestra una tendencia a la normalización respecto a la PA nivel del mar e incluso a la disminución explicado por una posible inhibición de los mecanismos presores agudos asociados a la activación simpática (Mazzeo, 2008; Vinnikov et al., 2016). Respecto a ese último planteamiento, se desconoce si se replica o no en la población hipertensa o sana expuesta a HIC; los últimos estudios, han utilizado tecnologías para simular este tipo de exposición. En este sentido, Taralov et al. (2018), estudiaron los efectos de la exposición a hipoxia intermitente normobárica (HIN) mediante la respiración de aire con una $FiO_2 = 12,3 \pm 1,5\%$; en reposo en 12 varones (edad=29,8±7,4 años) durante 1 hora por 10 días consecutivos, obtuvieron una tendencia a una mayor SaO_2 y menor FC con el pasar de los días. Ellos sugieren, que una aclimatación efectiva a largo plazo implicaría un cambio progresivo hacia una mayor influencia parasimpática, que sería el resultado de una activación simpática reducida, probablemente como resultado de una mayor actividad baroreflexa arterial que contrarrestaría los efectos de la activación inicial del SNS causada por la hipoxia aguda (Tarlov et al., 2018). Estos resultados no concuerdan con el estudio de Lizamore et al. (2016), que observaron los efectos de la exposición HIN, 16 sujetos de ambos géneros (edad=45-65 años), 8 sujetos recibieron HIN mediante aire hipóxico por 4 semanas (semana 1: $FiO_2 \sim 0,21$; semana 2: $FiO_2 \sim 0,16$; semana 3: $FiO_2 \sim 0,13$; y semana 4: $FiO_2 \sim 0,10-0,12$) y 8 sujetos recibieron un placebo con normoxia, cuyos resultados durante la

cuarta semana de exposición intermitente sugieren una disminución en la contribución relativa de la actividad vagal por un aumento de la FC reposo en comparación con el grupo control. La diferencia entre estos estudios podría estar relacionada al tipo de exposición a la mezcla hipóxica, aunque este tipo de exposición es diferente a la exposición a HIC en Chile que se debe a hipobaría con modalidades de turno.

Actualmente existe información limitada sobre los efectos en la salud de la exposición a HIC en trabajadores mineros chilenos con y sin hipertensión, no se ha estudiado la respuesta hemodinámica al ejercicio submáximo en condición de HIC, a pesar de que podría tener una exigencia física similar a la requerida en las diferentes funciones laborales (Niño, 2012). En función de lo mencionado, el objetivo de este trabajo es explorar la respuesta aguda al ejercicio submáximo a través de TM6M en trabajadores mineros con y sin hipertensión expuestos a HIC de una empresa del norte de Chile****.

Materiales y métodos

Participantes

38 sujetos realizaron el estudio en GA (19 con HTA y 19 controles) y de ellos sólo 35 lo realizaron a NM (17 con HTA y 18 controles) en orden aleatorio, de edad promedio $48,1 \pm 6,8$ años. Todos dieron su consentimiento informado por escrito previo al ingreso del estudio y llevaban más de 2 años en el sistema de turno.

La población de estudio fue definida por los siguientes criterios:

- Criterios de inclusión: Hombres de 18 a 65 años de edad, que cumplieran turnos laborales de 7 x 7 y que llevarán más de 2 años en el mismo, con residencia permanente a BA o NM, trabajadores hipertensos controlados en tratamiento antihipertensivo, consentimiento informado por escrito para participar en el estudio.
- Criterios de exclusión: Sujetos hipertensos no controlados farmacológicamente, historia del mal de montaña grave, enfermedades cardiovasculares distintas de la hipertensión (enfermedad coronaria, insuficiencia cardíaca, auricular fibrilación, cardiopatía valvular o congénita, cardiomiopatías, enfermedad cerebrovascular, enfermedad arterial periférica, aneurisma aórtico), probabilidad elevada de incumplimiento de los procedimientos de estudio y patologías neuromusculares agudas o crónicas que impidan la ejecución de una caminata normal.

Instrumentos

El TM6M, se realizó de acuerdo con el protocolo de la American Thoracic Society (ATS) (ATS, 2002). Las pruebas se midieron de forma aleatoria entre GA y NM, según la disponibilidad de los sujetos, el 50% la realizó primero en GA y el otro 50% a NM. La prueba en GA, se ejecutó el primer día de turno post-jornada laboral, en un corredor interior de 30 m de longitud, todos los sujetos habían realizado con anterioridad el test durante un periodo de 1

****Trabajo de investigación patrocinado por CONICYT / FONDECYT/ INICIACIÓN /11180503.

año y conocían el procedimiento. La prueba a NM, se realizó entre el tercer y cuarto día del periodo de descanso del trabajador en su lugar de residencia, en dependencias de instituciones educacionales que contaban con 30 m de longitud. La FC, la SaO₂, la PAS y PAD se midió repetidamente en la posición sentada después de 10 minutos de descanso antes de comenzar la prueba, inmediatamente después de completar el 6MWT, y después de 5 min de recuperación. La SaO₂ y la FC se midió en el dedo índice del sujeto con un oxímetro de pulso (Nonin-USA). La PA se midió con un dispositivo oscilométrico validado (AND UA-631). La distancia total recorrida durante 6 min se registró al final de la prueba y los datos fueron ingresados en una hoja de registro de TM6M.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio de datos por medio de media aritmética, mediana, desviación estándar, prueba de hipótesis Shapiro Wilk para las diferentes variables en estudio. Debido a la naturaleza paramétrica de gran parte de los datos, se utilizó la prueba t-student para dos muestras relacionadas, con el fin de examinar las diferencias entre las medias de cada una de las variables en estudio para el mismo grupo en condiciones diferentes NM y GA. Para los datos no paramétricos, se realizó la prueba de Wilcoxon para dos muestras relacionadas para examinar las diferencias entre las medianas de las variables no normales (SaO₂ final y rec 5' en GA y SaO₂ basal, final y rec 5' a NM). Se utilizó la prueba t-student para dos muestras independientes, con el fin de examinar las diferencias entre las medias de cada una de las variables en estudio entre ambos grupos (HTA vs controles) en la condición de GA. Para los datos no paramétricos, se realizó la prueba de Mann-Whitney para dos muestras independientes (SaO₂ final y rec 5' en GA).

Resultados y discusión

Comparación de la respuesta al TM6M a NM vs GA para el grupo HTA y grupo control

Los sujetos del grupo HTA que realizaron la prueba tanto en GA como en NM, mostraron una reducción no significativa ($p=0,184$) en el rendimiento del test en altitud geográfica vs el NM. La FC basal y rec 5' aumentaron significativamente en GA respecto al NM ($p=0,000$; $p=0,007$, respectivamente). La PAS basal, aumentó significativamente respecto al NM ($p=0,004$). La PAD tanto basal, final y rec 5' aumentaron significativamente en altitud respecto a los valores registrados a NM ($p=0,000$; $p=0,006$; $p=0,001$, respectivamente). La SaO₂, disminuyó significativamente en GA a nivel basal, final del ejercicio y recuperación 5' respecto el nivel del mar ($p=0,000$) (tabla 1).

Los sujetos del grupo control que realizaron la prueba tanto en GA como en NM, no mostraron una reducción del rendimiento en el test en GA vs el NM ($p=0,994$). La FC basal y rec 5' aumentaron significativamente en GA respecto al NM ($p=0,000$; $p=0,001$, respectivamente). La PAS basal, aumentó significativamente respecto al NM ($p=0,003$). En cuanto a la PAD tanto basal, final y rec 5' aumentaron significativamente con la llegada a la altitud respecto los valores registrados a NM ($p=0,002$; $p=0,000$; $p=0,000$, respectivamente). La SaO₂, disminuyó significativamente en GA tanto a nivel basal, final del

ejercicio y post recuperación 5' respecto el nivel del mar ($p=0,000$) (tabla 1).

En ambos grupos, hubo una respuesta similar de las variables hemodinámicas previas al ejercicio, al término del ejercicio y post- recuperación 5' con la exposición aguda a GA respecto a los valores del test alcanzados a NM.

Tabla 1. FC, PA y SaO₂ reposo, final del ejercicio y recuperación de 5 min a NM y GA.

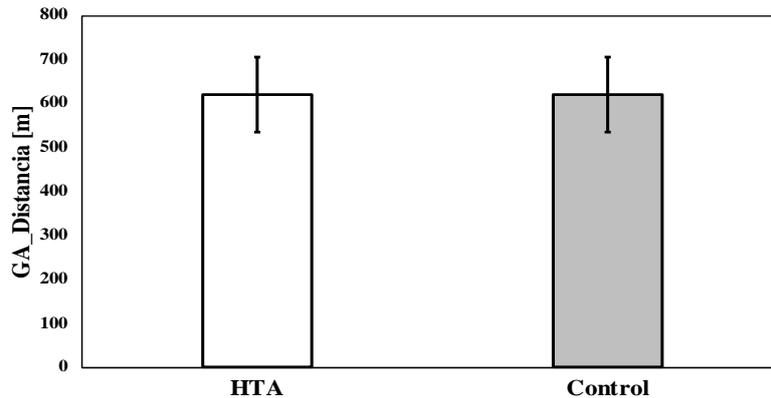
Variables	Grupo	NM n	NM X±sd	GA n	GA X±sd
FC basal [lpm]	HTA	17	68,2±2,8	19	84,2±14,6 +
	CONTROL	18	72,3±3,6	19	86,6±15,1 ·
PAS basal [mmHg]	HTA	17	127,5±3,1	19	138,2±16,1 * +
	CONTROL	18	119,0±2,8	19	128,5±10,5 ·
PAD basal [mmHg]	HTA	17	81,0±2,2	19	98,2±12,2 * +
	CONTROL	18	77,9±2,1	19	86,4±10,1 ·
SaO ₂ basal [%]	HTA	17	97,5±0,1	19	88,5±3,1 +
	CONTROL	18	97,6±0,2	19	89,9±3,3 ·
FC final [lmp]	HTA	17	109,5±3,9	19	116,8±18,7 &
	CONTROL	18	103,0±2,9	19	115,3±17,9 &
PAS final [mmHg]	HTA	17	154,1±3,2	19	158,5±16,0 * &
	CONTROL	18	142,7±4,1	19	147,3±17,0 &
PAD final [mmHg]	HTA	17	84,4±2,0	19	94,4±12,6 +
	CONTROL	18	83,1±1,9	19	90,2±10,9 ·
SaO ₂ final [%]	HTA	17	97,8±0,1	19	83,3±4,8 + &
	CONTROL	18	97,9±0,2	19	86,0±5,2 · &
FC rec5' [lmp]	HTA	17	81,9±3,0	19	93,3±14,2 + &
	CONTROL	18	83,5±2,1	19	95,5±11,1 · &
PAS rec5' [mmHg]	HTA	17	130,4±2,8	19	135,9±17,
	CONTROL	18	126,8±3,1	19	126,8±10,8
PAD rec5' [mmHg]	HTA	17	83,4±2,2	19	95,1±11,8 +
	CONTROL	18	80,5±2,1	19	88,5±9,9 ·
SaO ₂ rec5' [%]	HTA	17	97,8±0,2	19	90,2±3,4 +
	CONTROL	18	97,7±0,2	19	90,0±1,5 ·
Distancia [m]	HTA	17	652,7±15,4	19	621,8±85,7
	CONTROL	18	655,2±17,6	19	621,6±79,6

Nota. * $p<0,05$ HTA vs control en GA. + $p<0,05$ HTA a NM vs HTA en GA. · $p<0,05$ Control a NM vs control en GA. & $p < 0,005$ vs basal en GA.

Comparación de la respuesta al TM6M grupo HTA vs grupo control en GA

Todos los sujetos completaron el TM6M en ausencia de eventos adversos. La distancia alcanzada fue similar en ambos grupos 621,8±85,7 m (rango 375 - 728 m) en grupo HTA, 621,6±79,6 m (rango 495 - 789 m) en grupo control, sin diferencias relacionadas con el padecimiento de HTA (figura 1). No existió correlación entre un mayor aumento en la FC final del ejercicio con la distancia recorrida en el TM6M.

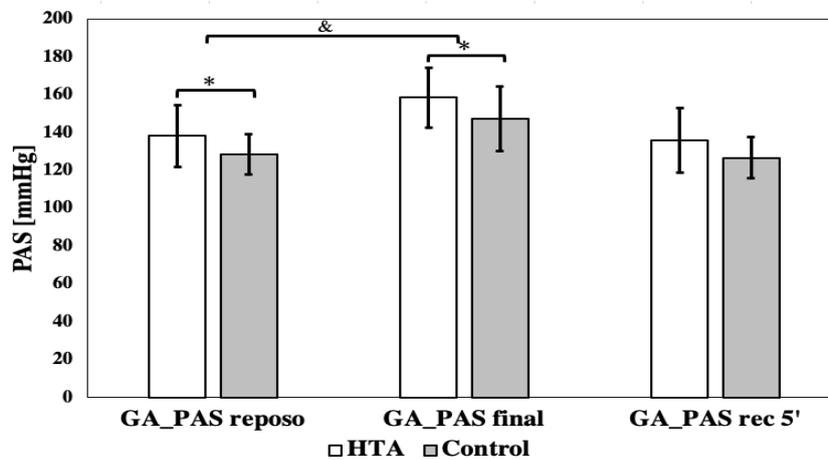
Figura 1. Distancia recorrida en el TM6M en GA



Nota. Los datos se muestran como promedio ± desviación estándar. TM6M= test de marcha de 6 min; GA= gran altitud; HTA= hipertensos con tratamiento.

La tabla 1 muestra los valores de FC y PAS/PAD en reposo, donde se observó diferencias significativas entre los grupos antes del ejercicio con mayores valores para el grupo HTA en PAS/PAD que el grupo control ($p=0,036$ y $p=0,003$ respectivamente), sin diferencias significativas en la FC y la SaO₂. La PAS al final del ejercicio, aumentó en ambos grupos respecto al reposo ($p=0,000$). El aumento fue significativamente mayor en el grupo HTA que en el grupo control ($p=0,043$). Esta diferencia no fue significativa después de 5' de recuperación, sin embargo, mostró valores más altos en el grupo HTA ($p=0,059$) (figura 2).

Figura 2. Respuesta de la PAS al TM6M en exposición a GA.



Nota. TM6M= test de marcha de 6 min; GA= gran altitud; PAS= presión arterial sistólica; mmHg= milímetros de mercurio; Reposo = línea de base; Final = al final del ejercicio; Recuperación 5' = 5 min después del final del ejercicio.

Los datos del presente estudio muestran, una respuesta al ejercicio submáximo en exposición a HIC con valores observados similares en parámetros cardiorrespiratorios a los de una exposición aguda a altitud, en comparación con estudios previos. A pesar de llevar más de 2 años en el sistema de turno rotativo 7x7, todos los sujetos al realizar el test en GA respecto al NM modificaron las mismas variables hemodinámicas con la llegada a altitud.

Respuesta similar al estudio de Hwang-Woon et al. (2016) realizado en 11 varones sanos expuestos de forma aguda a altitud simulada (altitud= ~4000 msnm o 12,8% O₂), que realizaron ejercicio submáximo al 70% de la FC_{max}. En los sujetos hubo una disminución significativa de la SaO₂ en altitud respecto NM, tanto en reposo (83,8±4,8%) como a los 5 min de ejercicio (77,8±3,7%) y un aumento significativo de la FC respecto al NM, tanto en reposo (92,1± 11,1 lpm) como a los 5 min de ejercicio submáximo (163,9±10,6 lpm). Esto se produce, por una mayor alteración de la homeostasis durante cargas de trabajo submáximas en exposición aguda a altitud, donde se observa, un mayor GC producido por un aumento de la FC y un mayor flujo sanguíneo muscular local, ambos mecanismos, permiten mantener un nivel similar respecto al NM, de O₂ transportado y utilizado por la musculatura en uso, con el fin de compensar una reducción en la PiO₂ y la disminución resultante de la SaO₂ (Mazzeo, 2008). Este mecanismo, podría ser corroborado por lo estudiado previamente por Moraga et al. (2019), con evidencia que sugiere que 12 sujetos varones sanos expuestos a HIC por más de 4 años a 3.800 msnm en modalidad rotativa 7x7 mantienen la eficiencia del suministro de O₂ a los tejidos durante el ejercicio maximal en GA respecto NM, se indica en este estudio que probablemente por un aumento de la concentración de hemoglobina con la permanencia en HIC, traducida en un mayor hematocrito tanto en reposo como durante el ejercicio máximo en GA, fenómeno que no ocurre a NM.

Por otro lado, todos los sujetos en su primer día tuvieron una PAS en reposo alta, siendo significativamente mayor para el grupo HTA. La PAS aumentó aún más al término de TM6M para ambos grupos, siendo mayor en el grupo HTA y permaneciendo elevada durante varios minutos en el período de recuperación para este último grupo. Estos cambios de la PA, están asociados a 2 grandes factores: la exposición a GA y a las exigencias del ejercicio físico. El traslado de los trabajadores desde su residencia a NM hasta las dependencias de la faena minera en GA y viceversa, cada 7 días, provocaría en cada ascenso, las ya conocidas adaptaciones de la exposición aguda a altitud, a pesar de hacerlo durante reiteradas ocasiones durante más de 2 años. Estos resultados, coinciden con las conclusiones del estudio de Lizamore et al. (2016), quienes rechazaron la hipótesis de la ocurrencia de una aclimatación durante la exposición a hipoxia intermitente simulada (semana 1: FiO₂ ~ 0.21; semana 2: FiO₂ ~ 0.16; semana 3: FiO₂ ~ 0.13; y semana 4: FiO₂ ~ 0.10–0.12), en un estudio de 8 sujetos sanos de ambos géneros (45-65 años), donde observaron un aumento en la FC reposo en la última semana de exposición, lo que sugiere una disminución en la contribución relativa de la actividad vagal con la permanencia en exposición intermitente. Este planteamiento de ausencia de una aclimatación en exposición a HIC, se puede corroborar al comparar la respuesta al ejercicio submáximo de los sujetos sanos del presente estudio, con la investigación de Caffrey et al. (2014), quienes encontraron en sujetos varones sanos residentes de GA (n=168; edad= >35 años; altitud=3.835 msnm), es decir, expuestos crónicos continuos, una respuesta al TM6M que se caracterizó por un menor cambio en la FC antes y después de TM6M en comparación con los residentes a nivel del mar (media 0,4 vs 5,3 lpm, respectivamente), explicando que la falta de aumento en la FC podría ser una adaptación protectora en los sujetos residentes de GA, que previene o evita un exceso de estimulación adrenérgica durante el ejercicio. En el presente estudio, los sujetos normotensos expuestos a HIC, tienen un alto cambio de la FC en reposo y después de TM6M (28,6 lpm) lo que indicaría que esta adaptación protectora, propia de los sujetos sanos

expuestos crónicos continuos, no se presentaría en los sujetos sanos expuestos HIC. Por otro lado, según lo indicado por Vinnikov et al. (2016), con 1 año de exposición a HIC existiría una disminución y tendencia a la normalización de los valores de la PA en sujetos mineros sanos ($n=472$; edad= $34,1\pm 7,8$; altitud= 4.000 msnm; masculino/femenino= $457/15$), explicado por una posible inhibición de los mecanismos presores agudos asociados a la activación simpática. En los hallazgos del presente estudio, los sujetos mineros normotensos con mayor tiempo de exposición a HIC (todos ≥ 2 años), muestran una tendencia a mayores valores de PAS/PAD de reposo ($p=0,078$ y $0,312$ respectivamente) y PAS/PAD finales del test ($p=0,349$ y $0,231$ respectivamente), lo que indicaría que a mayor tiempo de exposición a HIC mayores valores de PA tendría el sujeto sano expuesto a HIC antes y durante el test, no existiendo esta posible “inhibición”, sin embargo, otras mediciones podrían corroborar estos resultados.

Respecto a los sujetos hipertensos, este planteamiento, se puede corroborar con el estudio de Lang et al. (2016), donde 89 sujetos HTA fueron expuestos de forma aguda a GA (edad= $52,2\pm 9,5$; altitud= 3.260 msnm; masculino/femenino= $50/39$), obtuvieron resultados similares a los del presente estudio, es decir, los sujetos hipertensos con exposición a HIC por más de 2 años responden al ejercicio submáximo de forma similar a los sujetos hipertensos expuestos de forma aguda a GA. Los sujetos hipertensos del presente estudio, muestran una hiperreactividad de la PA, observado en el aumento significativo de la PAS reposo y final en el grupo HTA ($138,2\pm 16,1$ y $158,5\pm 16,0$ mmHg respectivamente) respecto al grupo control. Esta respuesta, se puede atribuir a un predominio de los mecanismos presores debido a una mayor activación simpática, desencadenada principalmente por una estimulación del quimiorreflejo positiva. Este último mecanismo desencadena, un aumento en el GC y una vasoconstricción sistémica que en pocas horas supera la vasodilatación inducida por la hipoxia y promueve un aumento en la PA. En pacientes hipertensos, este mecanismo puede acentuarse, debido a que la disfunción endotelial asociada a la hipertensión puede afectar la vasodilatación hipóxica y facilitar la vasoconstricción simpática (Rimoldi, et al., 2010). Otra posible explicación, se asocia a un valor basal de PA más alto de lo normal, lo que expone a los sujetos a un alto estrés cardiovascular continuo. Este estrés, en los sujetos hipertensos es esencial, puesto que provocaría aumentos persistentes en la concentración de adrenalina plasmática y en algunos ensayos indican que se genera mayor reactividad vascular (Irigoyen et al., 2015).

Limitaciones del estudio: El TM6M en GA, fue realizado post-jornada laboral de 12 horas, por tanto, el cansancio físico y mental puede haber influido en el rendimiento del test. Por otro lado, para no disminuir la adherencia al estudio, a los sujetos sólo se les sugirió el uso de ropa deportiva, no fue una obligación, de modo que, el uso de zapatos de seguridad de algunos sujetos podría haber causado fatiga muscular de las piernas. El TM6M a NM, fue realizado durante el periodo de descanso del sujeto, por lo cual, las condiciones de fatiga física y mental propias del trabajo en GA no estaban presentes y, sus horas de sueño, su alimentación fueron distintas respecto a la altitud.

Conclusiones

Al explorar la respuesta aguda al TM6M en 38 sujetos mineros chilenos expuestos a HIC un tiempo mayor o igual a 2 años, se caracteriza por: un aumento de la intensidad relativa ante el ejercicio submáximo; un aumento de la FC; un incremento de la PAS y PAD; una disminución de la SaO₂ en GA respecto NM.

Al comparar la respuesta aguda al TM6M a través de variables hemodinámicas entre el grupo control y el grupo HTA. Se obtienen diferencias significativas en la respuesta al ejercicio submaximal entre los hipertensos y los normotensos para la PAS/PAD con un incremento en el reposo, la PAS se mantiene alta al final del ejercicio y no luego de los 5' de recuperación en el grupo HTA. La FC, SaO₂ y el rendimiento en el test, no tienen diferencias relacionadas con el padecimiento de HTA.

Este estudio demuestra que la respuesta aguda al ejercicio submáximo en trabajadores mineros chilenos expuestos a HIC, se caracteriza por: un aumento de la FC, un incremento de la PAS y PAD; una disminución de la SaO₂ en GA respecto NM. Existen diferencias significativas de dicha respuesta entre sujetos con y sin HTA en cuanto a la PAS/PAD reposo y PAS final siendo mayor en el grupo HTA.

Este estudio, contribuye a una mejor comprensión sobre los efectos en la salud de la exposición ocupacional de HIC en Chile, entregando evidencia que describen la respuesta aguda al ejercicio submáximo en trabajadores sanos e hipertensos bajo esta exposición. Se estima conveniente que próximas investigaciones, consideren el estudio del ejercicio submaximal, dado que probablemente tiene exigencias físicas similares a las laborales de estos sujetos, permitiendo un acercamiento a la respuesta cardiovascular frente a su trabajo diario en exposición a HIC. Junto con futuras investigaciones, estos datos permitirán la generación de protocolos de evaluación y monitorización de salud realmente efectivos, probablemente, que incluyan la evaluación del esfuerzo submaximal, para garantizar la mantención de la aptitud laboral y el óptimo desempeño de las labores de los trabajadores contribuyendo a largo plazo a una mayor productividad de la empresa.

Referencias

- Agren, D. (2020). *Understanding Mexican health worker COVID-19 deaths*. <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2820%2931955-3>
- Arias, L. (2019). Reflexión sobre la educación médica en Colombia. *FEM: Revista de la Fundación Educación Médica*, 22(3), 97-102. https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S201498322019000300002&script=sci_abstract&tln g=en
- Calderón, C. (2020). *Hospital de campaña como una propuesta de política pública en salud desde la gestión del riesgo en Colombia*. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/10451>.
- Carrasco, S. (2020). Ataque al personal de la salud durante la pandemia de COVID-19 en Latinoamérica. *Acta Médica Colombiana*, 45(3), 45. <https://doi.org/10.36104/amc.2020.1975>
- Corredor, J. (2020). *Impacto de la sobrecarga laboral durante la pandemia en el bienestar y calidad de vida de los auxiliares de servicios generales del hospital regional de la ciudad de Villavicencio*. <http://hdl.handle.net/10823/2614>
- Del Carpio, L. (2020) Médicos de primera línea de atención infectados por COVID-19 durante un brote hospitalario en Veracruz, México. *Medicina Interna México*, 36(6), 781-788. <https://doi.org/10.24245/mim.v36i6.4430>
- Del Pilar, E. A. (2020). Impacto psicológico por necesidades de bioseguridad en profesionales de enfermería durante la pandemia covid-19. *Dominio de las Ciencias*, 6(5), 11-23. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i5.1576>
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020). Acuerdo por el que se establecen especificaciones que las secretarías de Salud, de la Defensa Nacional y de Marina; así como el Instituto de Salud para el Bienestar, el Instituto Mexicano del Seguro Social y el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, en su carácter de unidades facultadas, deberán observar para la contratación del personal que en el mismo se menciona. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5592224>
- Díaz-Guio, D., Ospina-Vélez, J. & Ricardo-Zapata, A. (2020). *COVID-19: Una crisis que requiere medidas de formación urgentes*. https://www.researchgate.net/profile/Andres-Diaz-Guio/publication/341037665_COVID-19_una_crisis_que_requiere_medidas_de_formacion_urgentes/links/5ec48989458515626cb83adf/COVID-19-una-crisis-que-requiere-medidas-de-formacion-urgentes.pdf
- Díaz, J. (2020). Dispositivos Médicos en Chile, contexto de la pandemia de Covid-19. *Revista del instituto de salud pública de Chile* 4(2) 1-3. <https://revista.ispch.gob.cl/index.php/RISP/article/view/113/107>
- Duarte, R., Sequeira, L., del Socorro J., & Castro, C. (2020). Estrés laboral y su relación con las condiciones de trabajo. *Revista Electrónica de Conocimientos, Saberes y Prácticas*, 3(1), 104-119. <https://doi.org/10.5377/recsp.v3i1.9794>
- El Comercio (2020). Salud espera contratar a más de 700 profesionales en todo el país por la emergencia sanitaria. <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/carrasco-salud-contratacion-profesionales-coronavirus.html>
- Figuroa, R. (2020). El impacto psicológico de la pandemia de COVID-19 en el personal de Salud: Un panorama preocupante. *Revista de ciencias médicas*, (1), 19–21. <https://doi.org/10.11565/arsmed>.

- Galán-Rodas, E., Tarazona-Fernández, A., & Palacios-Celi, M. (2020). *Riesgo y muerte de los médicos a 100 días del estado de emergencia por el COVID-19 en Perú*. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172020000200119
- Garcés, S. (2020). *Crisis del sistema de salud y COVID 19: Una mirada crítica a la subcontratación laboral*. <https://www.revistaciendiascinep.com/home/crisis-del-sistema-de-salud-y-covid-19-una-mirada-critica-a-la-subcontratacion-laboral/>
- Giovannella, L., Vega, R., Tejerina-Silva, H., Acosta-Ramirez, N., Parada-Lezcano, M., Ríos, G., Iturrieta, D., Fidelis de Almeida, P., & Feo, O. (2021). *¿Es la atención primaria de salud integral parte de la respuesta a la pandemia de Covid-19 en Latinoamérica?* <https://www.scielo.br/j/tes/a/CJX9Rs5gSBJmsMrfwhkdJrL/?lang=es&format=pdf>
- Gómez, O. D., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H., & Frenk, J. (2011). Sistema de salud de México. *Salud pública México*, 53(2), 220-232. <http://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v53s2/17.pdf>
- Gutiérrez, M., Zelaya, S., Castellanos, E. & Domínguez (2020). *Acciones realizadas en Latinoamérica y el mundo sobre salud mental en el marco del COVID*. Instituto Nacional de Salud. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/06/1099611/resumen-acciones-realizadas-en-latinoamerica-y-el-mundo-sobre-UUTxIao.pdf>
- Institute for Global Health Science (IGHS, 2021). *La respuesta de México al COVID-19: Estudio de caso*. https://globalhealthsciences.ucsf.edu/sites/globalhealthsciences.ucsf.edu/files/la_respuesta_de_mexico_al_covid_esp.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2020). *Registro estadístico de recursos y actividades de salud*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/actividades-y-recursos-de-salud/>
- Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente (2021a). *Atención a la salud mental durante la contingencia por COVID-19*. http://inprf.gob.mx/imgs/banner_main.jpg
- Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente (2021b). *Curso terapéutico manejo de la ansiedad en las y los trabajadores de la salud ante COVID-19*. http://www.inprf.gob.mx/ensenanzanew/info_cursos/2021/manejo_aniedad.pdf
- Luengo-Martínez, C. & Montoya-Cáceres, P. (2021). Condiciones de trabajo en profesionales sanitarios de hospitales públicos en Chile. *Revista Médica y Seguridad del Trabajo*, 66(259), 69-80. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2020000200069
- Maguiña V., Gastelo, A., & Tequen, B. (2020). El nuevo coronavirus y la pandemia del Covid 19. *Revista Médica Herediana*, 31(2), 125-131. <https://doi.org/10.20453/rmh.v31i2.3776>
- Márquez, J. (2020) Teleconsulta en la pandemia por Coronavirus: Desafíos para la telemedicina pos-COVID-19. *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 35(1), 5-16. <https://doi.org/10.22516/25007440.543>
- Ministerio de Salud (2020). *Informe epidemiológico. Características de personal de salud confirmados y probables de COVID-19*. https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2021/02/2021-01-21_Informe-PS-COVID-19.pdf
- Observatorio Nacional Ciudadano (ONC, 2020). COVID-19: Desafíos para la seguridad humana. <https://onc.org.mx/covid19>
- Palma, A., & Ansoleaga, E. (2020). Asociaciones entre factores de riesgos psicosociales, dimensiones organizacionales y problemas de salud mental, relacionados con la violencia laboral, en trabajadores de tres hospitales chilenos de alta complejidad. *Cadernos de Saúde Pública*, 36, e00084219. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00084219>

- Patiña, B., Rodríguez, A., & Castro, N. (2020). Anotaciones en torno al duelo durante la pandemia COVID-19 en Latinoamérica. *Comité ejecutivo de redacción*, 6. http://www.apalweb.org/docs/revista_20.pdf#page=6
- Patiño, M. P., & Giles, C. A. (2020). *Las remuneraciones del personal de salud en México: entre el amor al arte y los esfuerzos débilmente recompensados*. Instituto Belisario Domínguez Senado de la República, 78. http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/4824/Nota_RemuneracionesSalud78.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Peraza, C. (2020). Salud laboral frente a la pandemia del COVID-19 en Ecuador. *Medisur*, 18(3), 507-511. <http://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/4713>
- Pérez, U., & Arellano, M. (2020). Labor de Dermatología en la atención a reacciones cutáneas adversas por uso de equipo de protección personal durante la pandemia por COVID-19. *Dermatología Revista Mexicana*, 64(4), 487-490. <https://dermatologiarevistamexicana.org.mx/article/labor-de-dermatologia-en-la-atencion-a-reacciones-cutaneas-adversas-por-uso-de-equipo-de-proteccion-personal-durante-la-pandemia-por-covid-19/>
- Ramírez-Pereira, M., Pérez-Abarca, R., & Machuca-Contreras, F. (2021). Políticas públicas de promoción de salud en el contexto de la COVID-19, en Chile, una aproximación desde el análisis situacional. *Global Health Promotion*, 28(1), 127-136. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1757975920978311>
- Rodríguez, M., Del Muro, F., & Guajardo, A. (2020). Violencia sufrida por el personal femenino de enfermería durante la pandemia por COVID-19. *Sociedad Cubana de enfermería*, 1-7. <https://promociondeeventos.sld.cu/enfermeriahabana2021/files/2021/05/Juan-Carlos-Medrano.pdf>
- Secretaría de Salud (2020, 16 de junio). *Conferencia de prensa COVID-19*. <https://www.youtube.com/watch?v=FjYoeAjPi3w>
- Torres-Muñoz, V., Farias-Cortés, J. D., Reyes-Vallejo, L. A., & Díaz-Barriga, C. G. (2020). Riesgos y daños en la salud mental del personal sanitario por la atención a pacientes con COVID-19. *Revista Mexicana de Urología*, 80(3), 1-10. <https://www.medigraphic.com/pdfs/uro/ur-2020/ur203i.pdf>
- Traub, C., & Sapag, J. C. (2020). Personal sanitario y pandemia COVID-19 en Chile: Desafíos en salud mental. *Revista Médica de Chile*, 148(9), 1371-1372. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872020000901371>
- Uribe, J., Bedoya, O., & Vélez, E. (2020). Relación entre la percepción del riesgo biológico y la accidentalidad laboral en un hospital colombiano, 2019. *Revista Politécnica*, 16(32), 56-67. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6974>
- Urzúa, A., Samaniego, A., Caqueo-Urizar, A., Zapata, A., & Irarrázaval, M. (2020). Salud mental en trabajadores de la salud durante la pandemia por COVID-19 en Chile. *Revista Médica de Chile*, 148(8), 1121-1127. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872020000801121>
- Valdez, R. (2020). Ataque al personal de la salud durante la pandemia de COVID-19 en Latinoamérica. *Acta Medica Colombiana*, 45(3), 55-69. <https://doi.org/10.36104/amc.2020.1975>.
- Valdés, P.R., Cámara, L.A., De la Serna, M., Abuabara-Turbaym Y., Carballo-Zárate, V., Hernández-Ayazo, H., Sierra-Merlano, R.M., Viera-Jaraba, A., Rodríguez-Hurtado, D. Vaucher-Rivero, A., Melgar-Cuéllar, F., Ibáñez-Guzmán, C., Araya-Fonseca, C. Betancourt-Torres, I., Montúfar-Guardado, R., Nitsch-Montiel, C., Brav-Mejía, C. Salgado-Guevara, D., Bustillo-Valeriano, P.L., Cárdenas-Cejudo, A., Batista-Rujano, N., Jiménez, M.C., Arias-

- Burroughs, C., Durán-Castillo, M. & Carrasco-Dueñas, S. (2020). Ataque al personal de salud durante la pandemia de COVID-19 en Latinoamérica. *Acta Médica Colombiana*, 45(3), 55-69. <https://doi.org/10.36104/amc.2020.1975>
- Valera, L., Carrasco, M. A., López, R., Ramos, P., von Bernhadi, R., Bedregal, P., Florenzano, A., Pérez, I., Olivares, P., Vargas, I., González, X., López, P., Durán, G., Richards, C., & Castro, R. (2020). Orientaciones éticas para la toma de decisiones médicas en el contexto de la pandemia de COVID-19 en Chile. *Revista Médica de Chile*, 148(3), 393-398. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872020000300393>