

Función pulmonar en niños sanos de 7 y 8 años de las comunas de Cerro Navia y Los Andes expuestos a diferentes niveles de contaminación por MP10

Lung function in healthy children aged 7 and 8 of the comunas of Cerro Navia and Los Andes exposed to different levels of pollution by MP10

Daniel Cebulj Navarrete¹, Juan F. Vildoso Castillo¹, Evelyn Quezada Donoso¹, Felipe Figueroa Mellado¹, María José Prieto Correa², Víctor P. Díaz Narváez³, Pamela Maturana Aracena, Bernardita Orellana Campos⁴

Resumen

Objetivo: Determinar si difieren los valores espirométricos evaluados en niños sanos de 7- 8 años provenientes de comunas con niveles históricos de alta versus baja contaminación atmosférica en Chile.

Materiales y métodos: Estudio descriptivo, no experimental, exploratorio y transversal y ex post facto causa y efecto. Se realizaron en total 261 encuestas de salud respiratoria y calificaron, según criterios de inclusión, 110 niños sanos de 7 y 8 años (55 niños en cada comuna). Se realizaron exámenes espirométricos: Con espirometro de turbina SPIROBANK G, considerando variables VEF1, FEF25-75, PEF y CVF. La obesidad, actividad física, contaminación intramuros por calefacción y exposición a humo de tabaco también fueron descritas.

Resultados: Las variables espirométricas analizadas VEF1 y FEF25-75 mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) y PEF mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.005$) según localidad, es decir, que la media de estas variables en Los Andes, comuna agroindustrial con baja contaminación atmosférica, es mayor que la de Cerro Navia, comuna con altos niveles de contaminación del aire. En la variable PEF se encontró, además, significancia entre género. La CVF no presentó diferencia entre comunas.

Conclusiones: Los niños sanos de 7 y 8 años que habitan en comunas donde la exposición a contaminación atmosférica es alta presentan una menor función pulmonar comparada con los niños sanos, de similares características, que habitan en comunas con bajos niveles de contaminación atmosférica. Existen otros factores que podrían influir en el detrimento

Fecha de recepción: 30 de junio de 2011
Fecha de aceptación: 14 de septiembre de 2011

¹ Kinesiólogo, Licenciado en Kinesiología. Departamento de Kinesiología, Facultad de Artes y Educación Física, Universidad Metropolitana de las Ciencias de la Educación. Chile.

² Especialista en Kinesiología Respiratoria. Profesora del Departamento de Kinesiología, Facultad de Artes y Educación Física, Universidad Metropolitana de las Ciencias de la Educación. Chile.

³ Doctor en Ciencias Biológicas (Ph.D.). Profesor del Departamento de Kinesiología, Facultad de Artes y Educación Física, Universidad Metropolitana de las Ciencias de la Educación. Chile.

⁴ Kinesióloga. Laboratorio de Función Pulmonar, Unidad Broncopulmonar Infantil, Hospital Dr. Sótero del Río, SSMSO, Santiago de Chile.

Correspondencia: María José Prieto Correa. Calle Doctor Luis Bisquert 2765. Código postal: 7780450 Ñuñoa (Chile). Teléfono +56-9-66087105/ +56-02-7562157. kinesiologia@umce.cl. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Departamento de Kinesiología.

de la función pulmonar y que en este estudio fueron descritos como factores confundentes.

Palabras clave: Contaminación del aire, PM10, función pulmonar, niños.

Abstract

Objective: To determine if spirometric values evaluated in healthy children aged 7-8 years differ from one locality with high historical levels of air pollution versus a locality with lower levels of air pollution in Chile.

Materials and methods: Descriptive, non-experimental, exploratory and ex post facto cross and cause and effect. In total 261 surveys were performed of respiratory health and rated according to inclusion criteria, 110 healthy children between 7 and 8 years (55 children in each commune). Spirometric tests were performed, considering variables FEV1, FEF25-75, PEF and FVC. Obesity, physical activity, indoor pollution from heating and snuff smoke exposure were also described.

Results: The analyzed spirometry FEV1 and FEF25-75 showed significant differences ($p < 0.05$) and PEF showed high significant differences ($p < 0.005$) by location, that is to say, the average of these variables in the locality of Los Andes, commune with low air pollution is greater than Cerro Navia, a commune with high levels of air pollution. Variable in PEF was found also between gender significance. FVC showed no difference between communities.

Conclusions: Healthy children of 7 and 8 who live in the locality where exposure of air pollution is high, have lower lung functions compared with healthy children with similar characteristics who live in communities with lower levels of air pollution. There are other factors that could influence the detriment of pulmonary function, in this study were described as confounding factors.

Keywords: Air pollution, PM10, lung function, children.

INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años que se conoce que la contaminación atmosférica tiene efectos perjudiciales sobre la salud de las personas. Dicha contaminación, generada por diversos contaminantes, como las partículas suspendidas, entre otros, puede incluso llegar a ocasionar graves enfermedades, las cuales afectan principalmente los sistemas cardiovascular y respiratorio (1, 2).

Uno de los métodos mayormente utilizados para evaluar los efectos ocasionados por la contaminación, para el caso específico del sistema respiratorio, ha sido las pruebas de función pulmonar. Estos exámenes permiten identificar objetivamente algunos trastornos y caracterizar la presencia de una

disfunción fisiológica, y así contribuir al diagnóstico de diferentes patologías, o incluso detectar condiciones subclínicas que podrían afectar este sistema, tanto en adultos como en niños (3). En este sentido, la espirometría ha resultado ser una herramienta fundamental, por ser un examen accesible y de gran utilidad clínica que permite, por una parte, detectar patologías respiratorias y también hacer estudios epidemiológicos en la población (4), lo que ha permitido determinar en distintas poblaciones cómo es afectada la función pulmonar al encontrarse expuesta a contaminación ambiental.

Actualmente existe contundente evidencia y se ha demostrado una relación de deterioro en la función pulmonar asociada a la exposición aguda a material particulado

menor de diez micrómetros de diámetro (MP10) en la población infantil y adolescente, en los que aún no se ha producido la maduración completa y el tamaño adulto de los pulmones (5,6). Algunos estudios han demostrado también una menor tasa de crecimiento pulmonar en población expuesta de manera crónica a dichos contaminantes (7, 8), sin embargo, los estudios en Chile y Latinoamérica en niños sanos son escasos.

Por otra parte, los elevados niveles de contaminación presentes en varias ciudades del mundo y su asociación con la morbilidad y mortalidad de las poblaciones expuestas han conducido finalmente a considerar este factor como uno de los grandes problemas en la Salud Pública en numerosos países, y Chile no es la excepción.

Santiago es una de las ciudades con mayores índices de contaminación atmosférica, lo cual ha tenido gran impacto sobre la salud de la población; a pesar de los esfuerzos gubernamentales por bajar los índices de MP10, aún el promedio anual se encuentra sobre valores recomendados por la OMS (50 µg) (9).

Muchos son los factores que condicionan esta situación; dentro de los cuales destaca su topoclimatología, la cual determina que la distribución de la contaminación no sea homogénea (10,11). Así, podemos encontrar zonas con altos índices de contaminación y otras con índices más bajos.

Cabe destacar que Cerro Navia (CN) ha sido la comuna con mayores índices de contaminación durante muchos años; por el contrario, Los Andes (LA), comuna agroindustrial, perteneciente a la Región de Valparaíso, ha sido utilizada como referente nacional en contaminación por sus niveles considerablemente menores a los encontrados en otras localidades (11).

En Chile existe poca evidencia de los efectos del MP10 sobre la función pulmonar en la población infantil. Por eso es de gran importancia realizar investigación acerca de esta materia, ya que determinaría si la población infantil chilena presenta alteraciones en la función pulmonar al estar expuesta a contaminación atmosférica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio exploratorio, descriptivo, no experimental y transversal, en el que se hicieron exámenes espirométricos a la población de niños sanos de 7 - 8 años de las comunas de Cerro Navia (Región Metropolitana, ciudad de Santiago) y Los Andes (Quinta Región). Los criterios de inclusión fueron: vivir desde su nacimiento en las respectivas comunas y estar estudiando en las escuelas que se encontraran dentro del radio de dos kilómetros de las estaciones de monitoreo de calidad de aire. Se excluyó a todos los niños que presentaron: edad gestacional menor de 36 semanas, antecedentes de tabaquismo personal, presencia de enfermedades respiratorias o cardíacas crónicas, que cursaran un cuadro respiratorio al momento de la medición, presencia de semiología respiratoria recurrente o semiología respiratoria dos semanas previas al examen y que presentaran o hubieran presentado alguna enfermedad que afectara su función pulmonar actual.

Para la realización de los exámenes espirométricos se capacitó a un investigador en espirometría infantil en el Laboratorio de Espirometría del Hospital Sótero del Río, Servicio de Salud Metropolitano Sur Oriente (SSMSO), Santiago de Chile. Esta capacitación fue realizada por kinesiólogas certificadas en espirometría infantil del Laboratorio de Espirometría del mismo hospital.

Una vez finalizada las mediciones de la investigación, se validaron todos los datos en el Laboratorio de Espirometría del Hospital Doctor Sótero del Río.

En cada establecimiento educacional se realizó una reunión con el equipo docente como y con los apoderados o responsables de los niños. En dicha reunión se planteó el estudio y se explicó el proceso de éste. Posteriormente se procedió a entregar un consentimiento informado a cada apoderado o responsable del niño que estuviese interesado en participar. Luego de la aprobación por parte de los tutores de los niños se entregó un cuestionario validado de salud respiratoria a cada apoderado, el cual fue completado bajo la supervisión de los investigadores. Este cuestionario fue utilizado por Gutiérrez (12) en estudios para la determinación de curvas normales de valores espirométricos en población chilena, el cual refleja la apreciación de salud respiratoria de los niños y abarca otras variables que pueden influir en los valores espirométricos

alcanzados. Además se realizó una encuesta telefónica a la muestra seleccionada para conocer el tipo de calefacción que utilizaban; las preguntas fueron extraídas de la encuesta que utilizó Belmar (13). Se categorizó de la siguiente manera: Sin calefacción, Baja contaminación (eléctrica, gas catalítico, gas licuado), Media contaminación (parafina), Alta contaminación (leña o carbón). Los materiales se describen en la tabla 1.

Para la realización de la prueba espirometría se incluyó la maniobra para la evaluación de la Capacidad Vital Forzada y se registró la curva espiratoria (circuito abierto). El procedimiento y las consideraciones adoptadas en este estudio se basaron en los trabajos de la Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias (4) y de la Sociedad Americana del Tórax (ATS) (14).

Para la clasificación del nivel de obesidad se utilizó la norma técnica de evaluación nutricional de niños de 6 a 18 años (15).

Tabla 1. Listado de materiales utilizados

PROCEDIMIENTO	MATERIALES
Selección de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> • Documento de consentimiento informado. • Cuestionario validado de salud respiratoria*
Evaluación previa al examen espirométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Pesa electrónica digital marca ÉCOLE. Modelo ED 301 • Cinta métrica de 1,50 m • Fonendoscopio
Examen espirométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento: Espirómetro marca MIR. Modelo Spirobank_G. Dirección: Calle San Eugenio n° 1830, ciudad de Santiago (Chile) • Pinzas para la nariz • Boquillas desechables • Computador y <i>software</i> Winspiro PRO 3.0
Limpieza de instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • PERASAFE (polvo diseñado para la esterilización de la turbina del espirómetro). • Agua bidestilada de uso médico • Alcohol desnaturalizado 95° (Ftalatodietilo al 0,2%). • Algodón y toalla de papel
* Gutiérrez, 1996(12).	

Fuente: Datos tabulados por los autores.

En la estandarización de los valores espirométricos obtenidos se emplearon las tablas de normalidad de Knudson (16), las cuales son utilizadas actualmente en Chile como parámetro de referencia para la espirometría normal (17,18).

Las variables del estudio fueron las siguientes: Espirométricas: Curvas Volumen-Tiempo, cuyas variables son: CVF, VEF1, FEF25-75; Curvas Flujo-Volumen, cuyas variables son: PEF; otras variables: sexo, localidad; Variables Confundentes: Contaminación intramuros por calefacción (CIM), exposición a humo de tabaco, obesidad, actividad física.

Las variables espirométricas fueron analizadas comparando las medias de las variables localidad, sexo y la interacción entre ambas. En relación con las variables confundentes, estas fueron descritas en el estudio pero no fueron consideradas ni evaluadas en el proceso de análisis estadístico.

Los datos primarios fueron sometidos primeramente a estudios acerca de su tipo de distribución mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk) y de homocedasticidad mediante la prueba de Levene, en concordancia con los criterios de Hair et al. (19, 20). Posteriormente se estimaron estadígrafos descriptivos, tales como la media aritmética, desviación típica y el error típico de la media en cada uno de los datos de cada variable examinada en cada factor, en concordancia con Ostle y Díaz (21, 22). Las comparaciones entre los subniveles, en ambos factores analizados, fueron realizadas mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) Bifactorial de Efectos Aleatorios o Modelo III. Este Modelo de Efectos Aleatorios empleado permite extrapolar los resultados de la muestra analizada a la población estudiada, incluyendo la evaluación de interacciones entre los niveles de los factores (21,

22). El nivel de significación empleado en todos los casos fue de $\alpha \leq 0,05$.

RESULTADOS

De un total de 261 encuestas de salud respiratoria realizadas en ambas localidades (134 en LA y 127 en CN), fueron excluidos 131 escolares, correspondientes al 50,2% del universo encuestado, por presentar uno o más de los criterios de exclusión. Por consiguiente, solo 130 escolares calificaron para la realización del examen espirométrico, correspondientes al 49,8%. Además, 20 exámenes fueron descartados por no haber sido correctamente ejecutados. Finalmente, se consideraron 110 exámenes correctamente realizados y aprobados por el Laboratorio de Espirometría del Hospital antes señalado.

Respecto a los datos de CIM por calefacción en el hogar, se recolectaron tres semanas posteriores a las mediciones, y se obtuvo la información correspondiente al 78% de la muestra. Los resultados de esta encuesta se muestran en la tabla 2.

El índice VEF1/CVF estuvo sobre el 80% según Knudson en el total de espirometrías realizadas en ambas comunas. En la CVF no se encontraron diferencias significativas entre las localidades, sin embargo, existió una tendencia a valores inferiores en la comuna con mayor contaminación (CN), demostrado en la prueba F con 0,069 (tabla 3).

En el PEF se observó que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,005$) entre las medias de las localidades con una potencia superior a la esperada (0,982). Los valores inferiores encontrados para la variable PEF corresponden a CN (tabla 3, figura 1).

Tabla 2. Características de la muestra analizada

VARIABLE	CERRO NAVIA (n - 55)	LOS ANDES (n - 55)	TOTAL (n - 110)
Hombre/Mujer	30/25	25/30	55/55
Edad (Años)	7,5 ± 0,5	7,4 ± 0,5	7,5 ± 0,5
IMC (kg/m ²)	18,7 ± 3	18,5 ± 3	18,6 ± 3
Obesidad	18 (32,7%)	22 (40%)	40 (36,4%)
Actividad Física			
No realiza	24 (43,6%)	26 (47,3)	50 (45,5%)
Menos de 3 veces por semana	26 (47,3)	22 (40%)	48 (43,6%)
3 o más veces por semana	5 (9,1%)	7 (12,7%)	12 (10,9%)
Exposición a humo de tabaco			
Solo en lugares públicos	19 (34,5)	28 (50,9)	47 (42,7)
Hogares	32 (58,2)	23 (41,8)	55 (50%)
Madre fumadora	7 (12,7%)	3 (5,5)	10 (9,1)
CIM por calefacción	CERRO NAVIA (n - 41)	LOS ANDES (n - 45)	TOTAL (n - 86)
Alta	2 (4,9%)	8 (17,8%)	10 (11,6%)
Media	29 (70,7%)	16 (35,6%)	45 (52,3%)
Baja	7 (17,1%)	20 (44,4%)	27 (31,4%)
No usan calefacción	3 (7,3%)	1 (2,2%)	4 (4,7%)

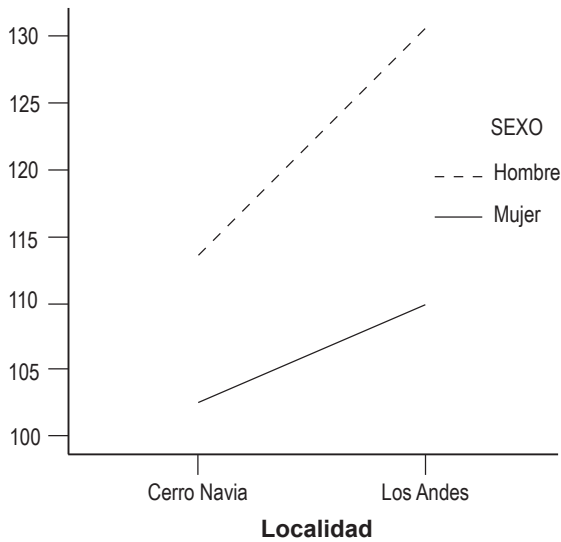
Fuente: Datos tabulados por los autores.

Tabla 3. Análisis de Varianza

VARIABLE	FUENTE	MEDIA CUADRÁTICA	SIGNIFICACIÓN	POTENCIA OBSERVADA
CVF	localidad	383,523	0,69	---
	Sexo	57,341	0,478	---
	localidad*Sexo	37,334	0,567	---
PEF	localidad	3786,735	0,005	0,982
	Sexo	6822,735	0,005	1,000
	localidad*Sexo	693,688	0,83	0,41
VEF1	localidad	524,805	0,021	0,643
	Sexo	24,441	0,614	0,79
	localidad*Sexo	85,765	0,345	0,156
FEF25-75	localidad	1682,041	0,016	0,681
	Sexo	70,987	0,616	0,79
	localidad*Sexo	275,793	0,323	0,166

Fuente: Datos tabulados por los autores.

Medias marginales estimadas de PEF

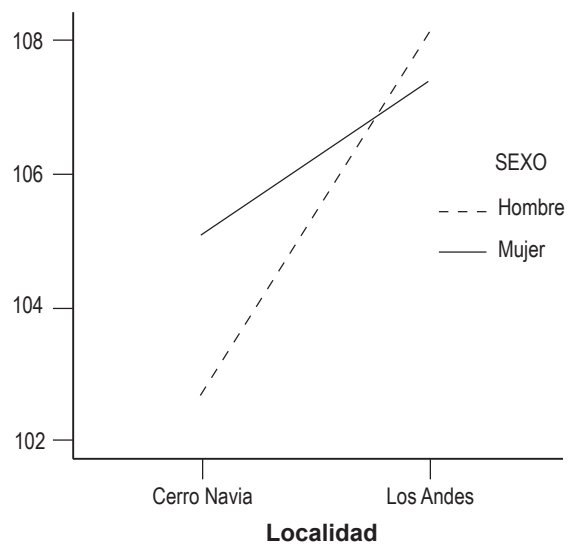


Fuente: Elaborada por los autores.

Gráfico de las medias de ambos factores estudiados en la variable PEF (*Peak expiratory flow*). En el PEF se observó que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,005$) entre las medias de las localidades; los valores inferiores correspondieron a CN (comuna con mayor exposición a MP10).

Figura 1. Medias marginales estimadas de PEF

Medias marginales estimadas de VEF1

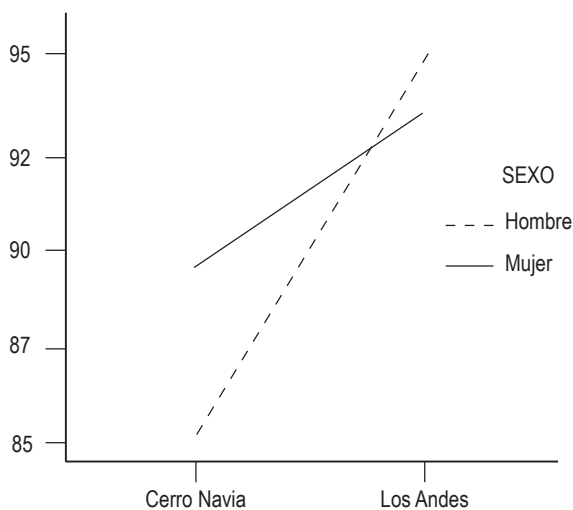


Fuente: Elaborada por los autores.

Gráfico de las medias de ambos factores estudiados en la variable VEF1 (Volumen espirado en el primer segundo). Se observó que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las localidades; los valores inferiores correspondieron a CN (comuna con mayor exposición a MP10).

Figura 2. Medias marginales estimadas de VEF1

Medias marginales estimadas de FEF 25-75



Fuente: Elaborada por los autores.

Gráfico de las medias de ambos factores estudiados en la variable FEF25-75 (Flujo espiratorio forzado durante el 25 y 75% de la CVF). Se observó que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las localidades; los valores inferiores correspondieron a CN (comuna con mayor exposición a MP10).

Figura 3. Medias marginales estimadas de FEF 25-75

Tabla 4. Abreviaturas

MP10	Material particulado menor de 10 micrómetros
LA	Comuna de Los Andes
CN	Comuna de Cerro Navia
µg	Microgramos
OMS	Organización Mundial de la Salud
CVF	Capacidad Vital Forzada
VEF1	Volumen espirado en el primer segundo
PEF	Flujo espiratorio máximo durante la maniobra de espiración forzada. <i>Peak expiratory flow (rate)</i> .
FEF25-75	Flujo espiratorio forzado durante el 25 y 75% de la CVF
VA	Vía aérea
SSMSO	Servicio de Salud Metropolitano Sur Oriente
CDT	Centro de Diagnóstico y Tratamiento
CIM	Contaminación Intramuros

Fuente: Datos tabulados por los autores.

El VEF1 y FEF 25-75 fueron significativamente menores ($p < 0,05$) en CN (tabla 3, figuras 2 y 3).

DISCUSIÓN

Este estudio no solo muestra una importante evidencia en relación con la función pulmonar de niños de 7 - 8 años de edad expuestos a diferentes niveles de contaminación por MP10, sino que también deja de manifiesto la amplia presencia de condicionantes de salud respiratoria propias de las poblaciones estudiadas. Esto se demostró a partir del período de selección de la muestra, donde, de un universo de 261 encuestas de salud respiratoria realizadas, tan solo un 49,8% calificó como "niño sano respiratorio", para posteriormente ser considerados en el estudio. Hubo un 52% de atrición muestral por esta causa en Los Andes y un 48% en Cerro Navia.

Esta importante reducción de la población objeto de estudio se debe en gran medida

a la alta incidencia de patologías respiratorias, tanto agudas como crónicas, las cuales excluían a los niños de la medición.

Otra causa importante de atrición en Cerro Navia fue producto de la falta de respuesta de la población frente a la devolución de los consentimientos informados e inasistencia a instancias de llenado del cuestionario de salud respiratoria.

De las cuatro variables espirométricas estudiadas, tres mostraron diferencias estadísticamente significativas al ser comparadas las medias de ambas comunas: VEF1, FEF25-75 y PEF. Para la variable CVF se no encontró diferencia significativa; no obstante, existen otros estudios que demuestran disminución de la CVF en niños que habitan en lugares con altas concentraciones de contaminantes atmosféricos (23).

Al comparar las medias de ambas localidades se encontraron menores valores para todas las variables de espirométricas en la comuna de CN, en la cual se presentan al-

tos índices de contaminación, y mayores valores en la localidad menos contaminada, correspondiente a la comuna agroindustrial de LA. Adicionalmente a lo antes planteado, los resultados de todas las espirometrías realizadas se encuentran dentro de los rangos de normalidad de acuerdo con las tablas descritas por Knudson (16). Clínicamente, estos resultados descartan la presencia de alteraciones en la función pulmonar, lo que se acompaña de la ausencia de semiología respiratoria. No obstante, la obtención de valores significativamente menores en la CN podría interpretarse como posibles alteraciones subclínicas difícilmente definibles solo por los valores espirométricos obtenidos. Estos resultados podrían ser explicados como parte de los mecanismos fisiopatológicos por los cuales el MP10 afecta al aparato respiratorio y al desarrollo pulmonar (24).

Al analizar los datos obtenidos de las mediciones espirométricas puede observarse que los valores obtenidos por el sexo masculino son mayores que los del sexo femenino, al igual que lo reportado en la literatura (25).

Numerosos estudios han demostrado la relación existente entre la exposición prolongada a contaminación por MP10 y la activación de mecanismos inflamatorios en la vía aérea (26, 27, 28). Para la variable VEF1 se encontraron valores significativamente menores en la comuna de CN. Los menores volúmenes movilizados en el primer segundo, encontrados en estos niños, indicarían un menor tamaño en el calibre bronquial, reafirmando así los hallazgos obtenidos para la variable PEF (26, 27, 28).

Los valores obtenidos para la variable FEF 25-75 también presentan menor media en el grupo de niños de CN. Esto es de real importancia, dado que esta variable mide el

flujo forzado durante el 25-75% de la porción espiratoria forzada e indica el estado de las vías aéreas de mediano y pequeño calibre, pudiendo estar disminuido precozmente, incluso antes de observarse cambios en el VEF1 (3, 29).

Una posible explicación para los menores valores obtenidos en VEF1 y FEF 25-75 sería que el MP10 actuaría como un agente irritativo, activando una cadena inflamatoria, provocando respuestas neutrofilicas, activando monocitos celulares y potencialmente generando una **reacción similar** al fenotipo alérgico en la Vía aérea (VA) (28). Esta inflamación podría no manifestarse en los resultados espirométricos bajo los valores normales, debido a que posiblemente se encuentre en una etapa preclínica. Si la exposición de MP10, como agente irritativo, persiste a corto y mediano plazo, podría manifestarse con mayor una incidencia de enfermedades respiratorias; y a largo plazo puede generar una remodelación en la vía aérea, que podría, a su vez, estar asociada a una obstrucción crónica al flujo aéreo (27, 28).

Es importante destacar que los resultados obtenidos para la variable FEF 25-75 expresarían un deterioro potencial de la función respiratoria a nivel bronquial periférico en los niños de CN en comparación con la comuna de LA; por lo tanto se puede usar como un predictor de enfermedad obstructiva (13). Las variables espirométricas en general pueden ser afectadas por una serie de factores independientes, por lo que se hace necesario seleccionar la muestra de la forma más homogénea posible. Así, para este estudio fueron considerados solo niños sanos desde el punto de vista respiratorio. Sin embargo, muchos de los factores que podrían alterar los resultados obtenidos fueron incluidos pero calificados como factores confundentes y limitantes del estudio.

Dentro de estos factores pueden destacarse: la obesidad y la realización de actividad física; la exposición a contaminación intramuros por tabaquismo o algunos tipos de calefacción; e incluso la exposición a contaminantes el mismo día de la evaluación, entre otros. De esto puede inferirse que, si bien atribuimos estas diferencias a la exposición a MP10 por tiempos prolongados, estas también podrían estar afectadas por otras variables (30, 31).

Otras variables que pueden influir en los resultados espirométricos son la temperatura y la humedad (32). Estos datos no fueron incluidos en el estudio, sin embargo, se consideró tener la sala previamente calefaccionada en los días de baja temperatura para tener una temperatura ambiente agradable (32). Por otro lado, las características técnicas que posee el equipo portátil hacen que las variables de temperatura y humedad no afecten los resultados espirométricos. La calibración del equipo portátil se verificó al comienzo y término del estudio, comprobándose el correcto funcionamiento del equipo portátil y la confiabilidad de los datos.

CONCLUSIÓN

Los valores espirométricos en la comuna de CN fueron significativamente menores en comparación con la comuna de LA. Estos hallazgos pueden explicarse debido a los efectos fisiopatológicos causados en la vía aérea por los altos niveles de MP10.

La importancia de estos resultados consiste en que niños sanos expuestos a altos niveles de contaminación desarrollan alteraciones en su sistema respiratorio que a su corta edad aún no se han manifestado clínicamente.

Los resultados en los valores espirométricos difieren entre las comunas, pero ambos grupos se encuentran dentro de los límites de normalidad, al compararlos con los valores de referencia publicados por Knudson (16).

En nuestro país aún no se publican tablas de normalidad, lo cual consideramos necesario para que los resultados de este estudio se estandaricen con valores acotados a la realidad chilena.

El daño a futuro en la población infantil expuesta a altos niveles de contaminación del aire puede ser irreversible y provocar mayor incidencia de enfermedades respiratorias, además de alteraciones en el desempeño de actividades físicas y deportivas. Esto nos genera una problemática compleja, ya que un alto porcentaje de la población es obesa y además presenta bajos niveles de actividad física. Sin embargo, puede ser riesgoso fomentar la realización de deportes en zonas donde las concentraciones de contaminantes atmosféricos son muy altas.

Es preciso realizar más estudios en esta población sana, modelando la mayor cantidad de variables que práctica y teóricamente puedan influir en los resultados espirométricos, y realizar las mediciones en una época del año con concentraciones bajas, para evitar la confusión de la exposición aguda.

Nuevos estudios que contemplen los elementos antes mencionados en población escolar sana podrán aportar elementos indiscutibles a las autoridades, para que tomen las medidas necesarias que permitan el cumplimiento o modifiquen positivamente las normas de calidad de aire existentes en Chile y que el conocimiento transferido a la población los sitúe en su rol de control social ciudadano y autocuidado de los ambientes intramuros.

Es fundamental proteger a la población infantil, sobre todo a la más expuesta, dependiendo de la zona geográfica en la que habite, ya que este grupo se puede exponer aún más si los niveles de exposición a contaminantes sigue aumentando en la medida que los procesos de desarrollo industrial y económico tengan lugar, para que finalmente podamos salvaguardar esta población de un futuro marcado por menores posibilidades de salud y calidad de vida.

Agradecimientos

Agradecemos a las siguientes personas y organizaciones por haber contribuido a nuestra investigación:

Kinesióloga Irlandia Silva Jeria, exdirectora del Centro de Salud Dr. Albertz, Santiago (Chile); Corporación de Educación de Cerro Navia; directores de los colegios de las comunas de Cerro Navia y Los Andes; Laboratorio de Función Pulmonar CDT: Hospital Doctor Sótero del Río; Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Facultad de Artes y Educación Física, Departamento de Kinesiología, Dirección de Investigación.

Conflicto de intereses: Ninguno.

Financiación: Universidad Metropolitana de las Ciencias de la Educación (Chile).

REFERENCIAS

- (1) Román O, Mancilla P, Prieto MJR. Contaminación atmosférica y daño cardiovascular. *Rev. Med. Chile* 2004; 132:761-767.
- (2) Román O, Prieto MJ, Mancilla P, Astudillo P, Acuña C, Delgado I. Aumento del riesgo de consultas cardiovasculares por contaminación atmosférica por partículas. Estudio en la ciudad de Santiago. *Rev. Chil. Cardiol* 2009; 28 (2):159 -164. Disponible en: www.scielo.cl/pdf/rchcardiol/v28n2/art03.pdf
- (3) Cruz Mena E, Moreno Bolton R. *Aparato respiratorio: Fisiología y Clínica*. Noviembre de 2007. Disponible en: <http://escuela.med.puc.cl/publ/AparatoRespiratorio/default.html>.
- (4) Gutiérrez CM, Beroíza T, Borzone G, Caviedes I, Céspedes J, Gutiérrez NM et al. Espirometría: Manual de procedimientos. Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias, 2006. *Rev Chil Enf Respir* 2007; 23: 31- 42.
- (5) Rosales J, Torres V, Olaiz G, Borja V. Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud pública Méx* 2001; 43(6):544-555.
- (6) Tabaku A, Bejtja G, Bala S, Toci E, Resuli J. Effects of air pollution on children`s pulmonary health. *Atmospheric Environment* 2010. Disponible en: Doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.07.033.
- (7) Horak F Jr., Studnicka M, Gartner C et al. Particulate matter and lung function growth in children: a 3-yr follow-up study in Austrian schoolchildren. *Eur. Respir J* 2002; 19:838-845.
- (8) Oyarzun M. Respirar aire limpio: Un derecho constitucional difícil de alcanzar (editorial). *Rev Chil Enf Respir* 1999; 22:151-153.
- (9) OMS. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
- (10) Oyarzun M. Desencuentros entre los conocimientos y las políticas públicas para afrontar la contaminación atmosférica (editorial). *Rev Chil Enf Respir* 2006; 22:151-153.
- (11) Prieto MJ, Mancilla P, Astudillo P, Reyes A, Román O. Exceso de morbilidad respiratoria en niños y adultos mayores en una comuna de Santiago con alta contaminación atmosférica por partículas. *Rev Méd Chile*

- 2007; 135: 221-228. Disponible en: www.scielo.cl/scielo.php?pid=S003498872007000200012&script=sci_arttext
- (12) Gutiérrez M, Rioseco F, Rojas A, Casanova D. Determinación de valores espirométricos en una población chilena normal mayor de 5 años a nivel del mar. *Rev Méd Chile* 1996; 124:1295 -1306.
- (13) Belmar R, Aranda C, Orrego M, Vergara ME, Salinas M, Martínez D. Estudio epidemiológico sobre los efectos de la contaminación atmosférica. Intendencia Regional Metropolitana, Serplac. ARA-SEEBLA-CONSECOL. Informe final. Diciembre de 1988.
- (14) American Thoracic Society. Standardization of Spirometry, 1994 Update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 1107-36.
- (15) Pizarro T, Rodríguez L, Benavides X, Atalah E, Mardones F, Rozowski J et al. Norma técnica de evaluación nutricional del niño de 6 a 18 años. *Rev. Chil Nutr* 2003; 31 (2): 7-20.
- (16) Knudson RF, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127:725-34.
- (17) Moreno R, Oyarzun M. Recomendaciones sobre informe espirométrico. Primera parte. *Enf Respir Cir Torác* 1988; 3: 97-103.
- (18) Moreno R, Oyarzun M. Recomendaciones sobre informe espirométrico. Segunda parte. *Enf Respir Cir Torác* 1988; 4: 138-49.
- (19) Shapiro SS, Wilk MB. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* 1965; 52, 591.
- (20) Hair JF, Anderson RE, Tatham, RL, Black WC. *Análisis multivariante*. Madrid:Prentice-Hall; 2001.
- (21) Ostle B. *Estadística Aplicada*. La Habana: Editorial Científico-Técnica; 1980.
- (22) Díaz VP. *Metodología de la Investigación Científica y Bioestadística para profesionales y estudiantes de Ciencias de la Salud*. Santiago de Chile (Chile): RiL Editores; 2009.
- (23) Lippmann M, Frampton M, Schwartz J, Dockery D, Schlessinger R, Koutrakis P et al. The U.S. Environmental Protection Agency Particulate Matter Health Effects Research Centers Program: a midcourse report of status, progress, and plans. *Environ Health Perspect* 2003 June; 111(8): 1074 -1092.
- (24) Ackermann-Liebrich U, Leuenberger P, Schwartz J et al. Lung function and long term exposure to air pollutants in Switzerland. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155:122-9.
- (25) Caussade S. Determinación de valores de referencia para volúmenes pulmonares en escolares y adolescentes. *Neumol Pediatr* 2008; 3: 156 -159.
- (26) Kelly FJ. Oxidative stress: its role in air pollution and adverse health effects. *Occup Environ Med* 2003; 60: 612-16.
- (27) Churg A, Brauer M, Avila-Casado M del C, Fortoul TI, Wright JL. Chronic exposure to high levels of particulate air pollution and small airway remodeling. *Environ Health Perspect* 2003; 111:714 - 8.
- (28) Alexis NE, Lay JC, Zeman K, Bennett WE, Peden DB, Soukup JM et al. Biological material on inhaled coarse fraction particulate matter activates airway phagocytes in vivo in healthy volunteers. *J Allergy Clin Immunol* 2006; 117: 1396-1403.
- (29) Linares M. Pruebas de función pulmonar en el Niño. *Revista Médica Clínica Las Condes* 2007; 8(2):145-154.
- (30) Dámato H, Holgate DT. the impact of air pollution on respiratory health. *European Respiratory Monograph* 2002; 7: 1-282.
- (31) Oyarzun M. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev Chil Enf Respir* 2010; 26: 1.
- (32) Departamento de Fisiopatología de la Asociación Latinoamericana del Tórax y miembros del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México y del proyecto PLATINO. *Manual de entrenamiento en espirometría*. Febrero de 2005.