



Pulsioximetría en la prueba marcha de seis minutos como predictor de alteración funcional respiratoria en trabajadores de minería artesanal del carbón

Pulse oximetry in six minutes walking test as a predictor of functional respiratory alteration in workers at artisanal coal mining

Juan M. Ospina-Díaz¹, Fred G. Manrique-Abril², Leidy Fernández-Cely³, Marcela Roa-Cubaque⁴, Adriana Valero-Ortiz⁵

- 1 MD., Mg. Epidemiología. Profesor Titular Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Investigador Grupo Salud Pública. Tunja, Colombia. e-mail: juan.ospina@uptc.edu.co
- 2 PhD. Salud Pública, Profesor Asociado Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Investigador GISP. Tunja, Colombia. Profesor Titular Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. e-mail: gisp@uptc.edu.co
- 3 Terapeuta Respiratoria. Investigador Grupo Oxigenar, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia. e-mail: leidyfernandez85@hotmail.com
- 4 Terapeuta Respiratoria. Docente e Investigadora Grupo Oxigenar, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia. e-mail: ameroa@uniboyaca.edu.co
- 5 Terapeuta Respiratoria. Docente e Investigadora Grupo Oxigenar, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia. e-mail: ameroa@uniboyaca.edu.co

Fecha de recepción: Diciembre 20 - 2013

Fecha de aprobación: Octubre 15 - 2014

Ospina J, Manrique F, Fernández L, Roa M, Valero A. Pulsioximetría en la prueba marcha de seis minutos como predictor de alteración funcional respiratoria en trabajadores de minería artesanal del carbón. Univ. Salud. 2014;16(2): 167 - 176

Resumen

Objetivo: Evaluar prospectivamente y mediante comparación, durante la prueba de marcha de 6 minutos, el comportamiento de la saturación arterial de oxígeno (SPO₂) y otras variables vitales, en dos grupos, uno de mineros del carbón (expuestos) y otro de trabajadores universitarios (controles). **Materiales y métodos:** Estudio prospectivo de cohortes. Se realizó la prueba (PM6M) en 72 trabajadores mineros y 46 trabajadores universitarios. Se midió minuto a minuto SPO₂, frecuencia cardiaca y distancia recorrida. **Resultados:** Se encontró una significativa desaturación de oxígeno, ante un ejercicio moderado, en los trabajadores mineros, equivalente a una manifestación precoz de alteración funcional del intercambio alveolo-capilar. **Conclusiones:** La exposición respiratoria sostenida a polvo de carbón y sílice podría ocasionar alteración funcional del intercambio gaseoso alveolo capilar. La pulsioximetría en la prueba de marcha de 6 minutos se perfila como una herramienta útil y costo-efectiva en salud ocupacional para el seguimiento y control de la salud de los mineros del carbón.

Palabras clave: Monitoreo de gas sanguíneo transcutáneo, neumoconiosis, pruebas de función respiratoria, enfermedades profesionales. (Fuente: DeCS, Bireme).

Abstract

Objective: To evaluate prospectively and through comparison the behavior of the arterial oxygen saturation (SPO₂) and other vital variables in two groups, one of coal miners (exposed) and another formed by university workers (controls) during the test run of 6 minutes. **Materials and methods:** Prospective cohort study. The test (6MWT) was performed in 72 miners and 46 university workers. SpO₂, heart rate and walked distance were estimated every minute. **Results:** A significant oxygen desaturation was found in the mineworkers when practicing a moderate exercise, which is equivalent to an early manifestation of functional impairment of the alveolar-capillary exchange. **Conclusions:** The sustained respiratory exposure to coal dust and silica may cause functional impairment of alveolar capillary gas exchange. The pulse oximetry in the 6 minutes walking test is emerging as a useful and cost-effective occupational health tool to monitor and health surveillance of coal miners.

Key words: Blood gas monitoring transcutaneous, pneumoconiosis, respiratory function tests, occupational diseases. (Source: DeCS, Bireme).

Introducción

Las condiciones laborales de la minería artesanal del carbón se asocian significativamente con variados factores de riesgo para la salud; entre ellos prima la exposición al polvo de carbón, sílice y sustancias gaseosas en fase de riesgo por explosión. La inhalación sostenida de polvo de carbón y sílice se reconoce como determinante en el desarrollo de enfermedad pulmonar en los mineros.¹ Las principales características de la exposición en función del daño potencial son la concentración, tamaño de las partículas, tiempo de exposición y susceptibilidad individual.² La neumoconiosis de los mineros del carbón es una enfermedad caracterizada por el depósito de partículas de polvo de carbón en los pulmones.

En algunos estudios se han encontrado cantidades iguales o superiores a 30 gramos de polvo de carbón en los pulmones de trabajadores expuestos, con una tasa de acumulación anual de entre 0,4 a 1,7 gramos por cada año de exposición.³

La neumoconiosis, también se conoce como enfermedad del pulmón negro o Antrosilicosis. Se presenta en dos formas: simple y complicada (fibrosis masiva progresiva o FMP), el riesgo de desarrollarla depende del tiempo que la persona haya estado expuesta al polvo del carbón y la edad. El tabaquismo no aumenta el riesgo

de desarrollar esta enfermedad, pero puede tener un efecto perjudicial adicional sobre los pulmones. Por lo general, el pronóstico para la forma simple es relativamente benigno. En casos poco comunes, la forma complicada puede empeorar repentinamente a *Cor pulmonale* y tuberculosis pulmonar.⁴

El diagnóstico de la neumoconiosis de los mineros del carbón se basa usualmente en los hallazgos radiológicos de la placa de tórax sumado al antecedente de exposición laboral por períodos de 10 años en promedio.⁵ Se están realizando esfuerzos para establecer criterios diagnósticos basados en otras técnicas de examen con el fin de acercarse a una predicción precoz de daño subclínico que permita controlar el riesgo.⁶

Más recientemente, se están haciendo intentos por incorporar aplicaciones tecnológicas y una mayor comprensión acerca de la fisiopatología de la enfermedad pulmonar; la cual inicia con procesos inflamatorios que comprometen la barrera alveolo capilar de manera que se limita el proceso de intercambio gaseoso por alteración del mecanismo de difusión; los estudios experimentales han demostrado dentro del amplio espectro de fenómenos moleculares y funcionales asociados, la disminución significativa de la presión arterial de oxígeno (PaO₂) y la consecuente baja en la proporción de saturación arterial del mismo.

En ese orden de ideas, la determinación del porcentaje de saturación arterial de oxígeno podría proveer información indirecta sobre el grado de permeabilidad de la membrana alveolo capilar en sujetos aparentemente sanos. Evidencia científica ha demostrado que la determinación de este valor mediante pulsioximetría ofrece garantía amplia de validez y confiabilidad, cuando se la compara con mediciones realizadas directamente mediante la extracción de sangre arterial.

La obstrucción bronquial difusa (OBD) de las vías aéreas es un fenómeno que ocurre en varias entidades pulmonares entre las que se pueden mencionar asma bronquial, enfisema pulmonar, secuelas de TBC, neumoconiosis, tromboembolismo pulmonar. Para que ocurra obstrucción bronquial difusa (OBD) es necesario un extenso grado de exposición de la vía aérea., La OBD se puede producir por los siguientes mecanismos:

Contracción del músculo liso de las vías aéreas

Presente en todas las enfermedades con OBD. En el mecanismo están comprometidas moléculas agonistas como la Acetilcolina, relacionada con el tabaquismo. También se pueden asociar mediadores inflamatorios como histamina, leucotrienos y prostaglandina, en particular en el caso del asma.

Acumulación de secreciones en la luz de las vías aéreas

Se correlaciona con alteración de las características mecánicas de secreciones, aparato mucociliar y tos. Al mismo tiempo, las secreciones aumentan la contracción del músculo liso.

Engrosamiento de la pared bronquial por edema o inflamación

Tanto el edema como la inflamación disminuyen el calibre de la vía aérea y potencian el efecto de contracción del músculo liso.

Fenómenos fibróticos que reducen u obliteran la luz

Procesos de cicatrización secundarios a la inflamación crónica, como ocurre en la exposición de los mineros del carbón, producen fibrosis de la pared de las vías aéreas, con obstrucción parcial e incluso obliteración irreversible.

Pérdida del soporte elástico

Normalmente el pulmón ejerce cierto grado de tracción radial sobre las vías aéreas. Al disminuir ella por efecto de la fibrosis, se reduce el calibre bronquial, mecanismo irreversible. El aumento del volumen pulmonar actúa como mecanismo compensatorio. Cuando ocurren exposiciones prolongadas a factores asociados con procesos de fibrosis pulmonar, existen mecanismos compensatorios que mantienen el índice V/Q en condiciones estables, no obstante, con el tiempo se pueden presentar los siguientes fenómenos:

Predominio de ventilación sobre perfusión, índices V/Q mayores que 1, es decir, aumento del espacio muerto.

Predominio de perfusión sobre ventilación, que se expresa con índices V/Q iguales o menores de 0,8, lo que traduce paso de sangre venosa, al lado arterial. Las principales causas son aumentos regionales de resistencia de la vía aérea, aumentos regionales de la perfusión capilar que no se acompañan de un ajuste ventilatorio, disminución parcial o global de la distensibilidad pulmonar o limitaciones regionales de la movilidad torácica. Los trastornos con disminución del índice V/Q son la causa más frecuente de hipoxemia.⁸

Las pruebas de tolerancia a la actividad física, como el test de caminata de seis minutos (6MWT) se incorporaron a la batería diagnóstica del estado funcional respiratorio en diferentes enfermedades de tipo respiratorio y cardiovascular a partir de la segunda mitad del siglo XX. Inicialmente, la prueba tuvo una duración de 12 minutos, aunque posteriormente

se pudo evidenciar que reducirla a seis minutos permitía aplicar a un espectro más amplio de cuadros clínicos, mejoraba la reproducibilidad y en síntesis resultaba ser más confiable, toda vez que ella expresaba de manera más fiel el conjunto de actividades rutinarias de las personas en términos de actividad física. Si se tiene en cuenta que la actividad de marcha es una práctica rutinaria para la mayoría de los seres humanos, la PM6M se ha manifestado como un test muy útil para evaluar la capacidad funcional y de desempeño respiratorio normal de las personas.⁹

En el presente trabajo se formuló como hipótesis de investigación, la existencia de alteraciones de la relación V/Q, de carácter subclínico que podrían hacerse evidentes mediante pulsioximetría durante la realización de la prueba de marcha de seis minutos, como manifestación precoz de obstrucción bronquial difusa primaria, expresada como desaturación y aumento de la FC en trabajadores de la minería artesanal del carbón, con diversos tiempos de exposición consistente en la inhalación de micropartículas presentes en los ambientes de las minas artesanales del carbón.

Para el contraste de esta hipótesis se planteó el siguiente objetivo general: Identificar alteraciones de la relación ventilación/perfusión, en estadio subclínico, durante la prueba de marcha de seis minutos en mineros, a través de la comparación del comportamiento global de la saturación arterial de oxígeno, frecuencia cardiaca y distancia recorrida, en dos muestras, una de trabajadores de la minería artesanal del carbón (expuestos) y una de habitantes de Tunja, trabajadores universitarios (no expuestos).

Materiales y métodos

Tipo de estudio. Se diseñó un estudio observacional, prospectivo de cohortes.

Población y muestra. Se definió como población general a sujetos varones, trabajadores mayores de 18 años. El tamaño de la muestra se estimó con base a los hallazgos de alteración del patrón espirométrico registrado en un estudio previo adelantado con 410 mineros, la cual fue de 26,1%, con alfa de 0,05 y poder estadístico del 80%; se estableció una relación de muestreo expuestos/no expuestos de 1,5:1.⁴ La selección y estructuración de los grupos se llevó a cabo mediante muestreo secuencial no probabilístico. En total se incluyeron 72 mineros y 46 trabajadores universitarios, a partir de poblaciones de estudio previamente definidas; lo que en cierta medida garantiza el carácter aleatorio de las muestras seleccionadas, dado que fueron considerados criterios de inclusión y exclusión claros, lo mismo que para la definición de la exposición.

Como criterios de inclusión se establecieron para el grupo de trabajadores de la minería artesanal del carbón, ser mayor de 18 años y haber desarrollado su labor durante un tiempo mínimo de 6 meses. Para los controles, ser varón mayor de 18 años. Se excluyeron de ambos grupos personas con antecedente de enfermedad respiratoria o sintomatología crónica de tipo respiratorio como tos o disnea, y fumadores actuales.

Método y estandarización de la prueba. La prueba de marcha de seis minutos consiste en cuantificar la distancia recorrida, caminando lo más rápido posible en un corredor plano de 30 metros de longitud durante un período de seis minutos; los participantes son estimulados permanentemente por el observador mediante expresiones orales motivantes, establecidas previamente; también se les notifica del tiempo transcurrido y el que resta para concluir la prueba. Se ha evidenciado que la diferencia de recorridos con y sin estímulo verbal puede ser significativa, por lo que se considera pertinente el aliento expresado en palabras.¹⁰ Si el sujeto se detiene antes del tiempo límite, ya sea

por disnea o fatiga muscular; el tiempo sigue contabilizándose durante la detención, pudiendo reanudar la marcha hasta la culminación del test. Desde el estado basal, cada minuto, se registró la frecuencia cardiaca y la saturación arterial de oxígeno, mediante pulsioxímetro Magnatek 30® y un cronómetro Kadio KD1062® debidamente calibrados, para todos los sujetos participantes. Para la ejecución de la caminata se buscó mantener en todo momento condiciones ambientales y de temperatura estandarizadas, en el interior de un recinto. El sentido de la marcha se delimitó con ayuda de conos de señalización y marcas de longitud cada 2 metros. El desarrollo de las pruebas se adelantó siguiendo un protocolo previamente adaptado, que incluyó un mínimo de dos mediciones con un espacio intermedio de reposo para cada sujeto.¹¹

La información obtenida se registró y analizó con el paquete estadístico Epi-Info 2002. Se registraron medias para las variables continuas y porcentajes para las variables discretas con sus correspondientes intervalos de confianza al 95%. Cuando se consideró conveniente hacer comparaciones de grupos, las pruebas de hipótesis se adelantaron con las pruebas t de Student y Chi cuadrado.

Por tratarse de un protocolo que no involucra procedimientos de tipo invasivo, el estudio se clasificó como de riesgo mínimo acorde con los enunciados de la Resolución 8430/93. A todas las personas elegibles se les informó sobre los propósitos y metodología del estudio y se les pidió que registraran su asentimiento mediante la firma de un documento de consentimiento informado; el protocolo fue previamente aprobado por el Comité de Bioética en Investigación institucional.

Durante todo momento, el equipo de investigación se ocupó de preservar la cadena de custodia de la información así como los principios de beneficencia y autonomía para los participantes; no se registraron negativas ni deserciones durante el proceso. Todos los participantes tuvieron acceso al resultado y correspondiente explicación sobre los resultados de su evaluación individual.

Resultados

Las características generales de los dos grupos en una línea base de comparación se registran en la tabla 1.

Tabla 1. Características generales de línea de base en los dos grupos

Variables	Trabajadores universitarios (n=46)	SD; rango	Mineros Paipa(n=72)	SD; Rango	P
Media de edad	37,43	SD= 9,44; 19-65	35,70	SD=11,03; 22-57	0,38
Estatura promedio	1,72	SD=0,06; 1,60-1,82	1,67	SD=0,04; 1,54-1,80	<0,001
IMC promedio	24,75	SD=3,20; 19-31	24,13	SD=3,05; 19,3-31,8	0,29
Peso promedio	73,8	SD= 10,24; 55-99	67,7	SD=9,17; 51-98	0,0015
Porcentaje promedio de grasa corporal'	22,11	SD=4,9; 14,0-34,7	20,97	SD=4,67; 13,3-34,15	0,29
FC promedio reposo	72,3	SD=11,0; 50-96	76,5	SD=12,5; 50-111	0,06
T/A Diastólica promedio reposo	73,7	SD=9,58; 58-97	77,3	SD= 9,5; 60-100	0,03
T/A Sistólica promedio reposo	120,45	SD=9,98; 100-140	120,76	SD= 12,5; 90-150	0,88
SPO ₂ Media basal	94,06	SD=1,84; 90-99	94,3	SD=1,86; 89-98	0,49
Distancia promedio a recorrer (Mts)	679,86	SD=63,24; 526-804	660,52	SD=76,73; 478-779	0,15
Distancia promedio recorrida Mts)	499,89	69,7; 318-664	624,68	SD= 60,63; 405-777	<0,001

* El porcentaje de grasa corporal se estimó mediante la fórmula de Deurenbergl.¹²

Se encuentran diferencias estadísticamente significativas en las cuantificaciones de peso y estatura promedio, así como en las cifras de presión arterial diastólica, las mismas que configuran un biotipo mas dirigido hacia lo mesomórfico en los trabajadores de la minería artesanal del carbón.

Características de la exposición. La media de edad de los trabajadores de la minería artesanal del carbón fue de 35,7 años (SD=11,03; Rango de edades 19-65 años). El tiempo promedio de trabajo en la minería artesanal fue de 12,4 años (SD=10,5); por rangos de edad el promedio se ajustó en 7,52 años para los menores de 35 (SD=4,7) y 20,09 para los mayores de 35 (SD=12,4). La distribución por tiempo de exposición se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Distribución del tiempo de exposición trabajadores de la minería artesanal del carbón Paipa 2010

Años de trabajo	Frecuencia	%
Hasta 1 año	3	4,17
1.1 a 5 años	19	26,39
5 a 10 años	20	27,78
10 a 20 años	19	26,39
Más de 20 años	11	15,28
Total	72	100

Comportamiento de la frecuencia cardiaca

Los promedios de comportamiento de la frecuencia cardiaca minuto a minuto se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Comportamiento de la frecuencia cardiaca minuto a minuto en los dos grupos

	Reposo	Min1	Min2	Min3	Min4	Min5	Min6
FC Tunja	72,34	86,17	86,19	86,52	90,63	91,10	86,60
FC Paipa	76,58	115,47	118,16	119,01	120,01	120,51	120,12
p	0,06	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Fuente: Base de datos

Si bien en la condición basal se encuentran en promedio valores más altos en los mineros, aunque la diferencia no es estadísticamente significativa (p=0,06), desde el primer minuto se evidencia una significativa elevación de la frecuencia cardiaca en los trabajadores de la minería artesanal del carbón que durante toda la prueba se sostiene a nivel de taquicardia (superior a 100 latidos por minuto); mientras

tanto, en los trabajadores no expuestos, si bien hay un leve aumento en el promedio de la frecuencia cardiaca, esta en ningún momento sobrepasa los 92 latidos por minuto.

Comportamiento del porcentaje de saturación arterial de oxígeno (SPO₂). En el gráfico 2 se registra el comportamiento minuto a minuto de la SPO₂.

Tabla 4. Comportamiento del porcentaje de saturación arterial de oxígeno (SPO₂) en los dos grupos

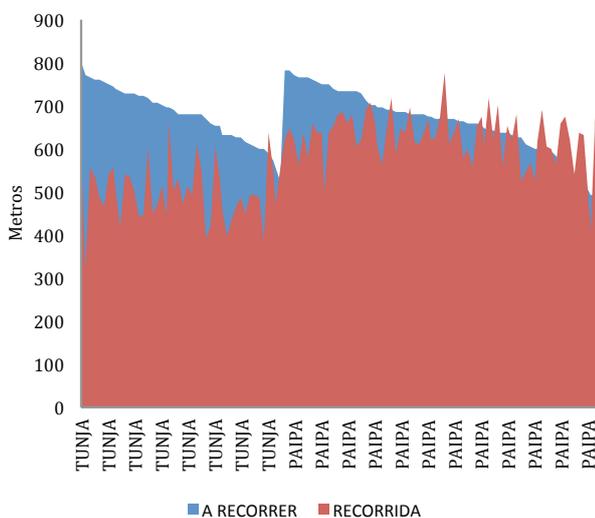
	Reposo	Min1	Min2	Min3	Min4	Min5	Min6
SPO ₂ Tunja	94,06	94,58	93,7	93,82	94,15	94,3	93,5
SPO ₂ Paipa	94,3	92,22	91,5	92,01	92,0	91,8	92,2
p	0,49	0,0001	0,0004	0,0003	0,0001	0,0000	0,0076

Igual que con la frecuencia cardiaca, en la evaluación de saturación arterial de oxígeno, también desde el primer minuto se evidencia en los promedios, una desaturación sostenida que sin alcanzar niveles patológicos (es menor del 4%), en el grupo de trabajadores de la minería artesanal del carbón, contrasta con los valores registrados en el grupo de trabajadores universitarios, que si bien registra algunos descensos, en todo momento se mantiene dentro de límites de estabilidad.

Comparación entre las distancias estimadas y las efectivamente recorridas

Se encuentra que en promedio los trabajadores de la minería artesanal del carbón recorrieron durante la prueba, distancias sustancialmente mayores, 25% superiores, en comparación con los recorridos promedio de los trabajadores universitarios, aunque la mayoría no alcanzó a recorrer la distancia estimada mediante la ecuación de Enright y Sherill.¹³ El comportamiento comparativo de las distancias esperada y recorrida para los dos grupos se muestra en el gráfico 1.

Gráfico 1. Comparación de las distancias recorridas y esperadas en los dos grupos



Discusión

El hallazgo más significativo en el presente estudio se refiere a la alteración de la relación ventilación - perfusión, expresada en los fenómenos de disminución del porcentaje de saturación arterial de oxígeno (SPO_2), durante la práctica de ejercicio moderado, en los trabajadores expuestos, que si bien no llega en la estimación de los promedios a niveles patológicos (disminución igual o superior al 4%), es significativa en la medida que sabemos que el engrosamiento de la membrana alveolo capilar por sí mismo no es razón suficiente para que se altere al relación V/Q , pero si puede significar hipoxemia durante el ejercicio, aunque sea moderado.

La condición de trastorno de la difusión alveolo capilar no es un fenómeno explicable desde la perspectiva funcional en razón a que el engrosamiento de la membrana alveolo capilar es un componente de la patología intersticial que modifica la ventilación alveolar regional como consecuencia de aumento en la rigidez del parénquima, lo que simultáneamente colapsa o inutiliza los capilares. En consecuencia, el trastorno de la difusión alveolo-capilar es un fenómeno inseparable de los trastornos V/Q que se observan en la mayoría de enfermedades del intersticio.⁸

Es importante anotar que no se han unificado completamente los criterios sobre el concepto de desaturación de oxígeno arterial, ya que es necesario considerar en primer lugar la altura sobre el nivel del mar.¹⁴

A este respecto se debe considerar que la diferencia de este parámetro en los dos grupos presenta un contraste sustancial, puesto que Tunja se ubica sobre los 2800 msnm, mientras que la localidad de Paipa está en promedio a 2525 msnm. Esta diferencia estaría a favor de mayor tasa de desaturación en los trabajadores del grupo control en Tunja, en la medida que a

la práctica del ejercicio se sumaría una menor presión parcial de oxígeno atmosférico.

La prueba de marcha de los 6 minutos ha sido definida como un test de ejercicio submáximo que sirve como marcador pronóstico de enfermedades respiratorias y evaluar la capacidad física de las personas.^{15,16} En este sentido, su utilidad para discriminar diferentes grados de desaturación arterial de oxígeno ha sido ampliamente documentada, aunque se reconoce que no se ha estandarizado una estimación de la distancia que deben recorrer las personas en función de parámetros como estatura, índice de masa corporal y altura sobre el nivel del mar, lo cual explicaría el que la ecuación propuesta por Enright y Sherrill, no se ajusta a los recorridos de personas aparentemente sanas y sin antecedentes de trastorno respiratorios.¹⁷

La desaturación de oxígeno arterial es un parámetro confiable de la alteración funcional respiratoria en pacientes con algún grado de obstrucción del flujo respiratorio, aun en condiciones de ausencia de manifestación clínica de la alteración, aunque se ha utilizado con mayor frecuencia para evaluar la alteración funcional durante las actividades de la vida diaria en pacientes con EPOC y el efecto de la administración de oxígeno en estos pacientes.

En el presente estudio se ha demostrado que se permitirían detectar manifestaciones subclínicas de neumoconiosis, en sujetos jóvenes y aparentemente sanos, sujetos a exposición consistente en inhalación continua y sostenida de partículas de carbón mineral o Sílice, durante su trabajo en la minería artesanal del carbón, como ya se ha demostrado previamente.^{18,19}

Se considera además que el patrón predominante de anormalidad funcional en la neumoconiosis simple de los trabajadores del carbón (CWP) es la obstrucción de la vía aérea, mientras que los efectos fibrogénicos del polvo de carbón juegan un papel secundario en la alteración funcional

en las etapas iniciales de la historia natural de la enfermedad, probablemente porque el depósito de partículas ocurre más tempranamente y con mayor velocidad en la vía aérea que en los alveolos, formando máculas de carbón en las paredes de los bronquiolos terminales obstruyendo la luz.²⁰

No obstante esta consideración, se ha corroborado además que existen, en los estadios iniciales de la enfermedad mecanismos compensadores que en condiciones normales mantienen estable el porcentaje de saturación arterial de oxígeno, solamente cuando se realiza algún tipo de ejercicio, es posible evidenciar la desaturación, que no necesariamente llega a alcanzar niveles patológicos, aunque sí se puede mantener en el tiempo.²¹

El principal mecanismo cardio-circulatorio compensador durante el ejercicio es el aumento del volumen minuto a expensas de incrementos en el volumen sanguíneo y la frecuencia cardíaca. El aumento de la frecuencia cardíaca está en función de la magnitud del ejercicio y normalmente es casi sincrónica con el aumento de la actividad física.

El incremento puede ser gradual y se estabiliza alrededor de 5 minutos después de iniciada la actividad. En general, la frecuencia cardíaca en individuos entrenados para desarrollar actividades físicas intensivas se registran frecuencias cardíacas más bajas y mayor capacidad de eyección de volumen minuto.²²

Los trabajadores de la minería artesanal del carbón desarrollan rutinariamente actividades físicas que demandan elevado gasto energético y en consecuencia, teóricamente deberían registrar incrementos moderados de la frecuencia cardíaca, comparados con los trabajadores universitarios, sujetos a actividades rutinarias y laborales definitivamente de carácter más sedentario.

La evidencia de un mayor incremento de la frecuencia cardiaca en los trabajadores mineros refuerza la hipótesis de compromiso en el intercambio alveolo capilar, probablemente como consecuencia del depósito sostenido de partículas de carbón o sílice en el interior de la luz de los bronquiolos o en las mismas paredes alveolares.

De los hallazgos descritos en un trabajo previo adelantado sobre las condiciones laborales y de vida de los mineros de Paipa, se desprende la existencia de los siguientes riesgos laborales: temperaturas extremas y cambios bruscos de temperatura; exposición química a gases y vapores, principalmente metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono; exposición continua a partículas respiradas de sílice y carbón; manipulación de elementos mecánicos grandes; sobreesfuerzo por cargas pesadas; riesgo de trauma por los déficits locativos y de infraestructura; riesgos derivados de la exposición continua al ruido y la vibración; riesgo biológico por las deficientes condiciones higiénico-sanitarias y el manejo de aguas no tratadas; riesgo de trauma y quemaduras por explosión o colapso de la estructura; riesgo psicosocial derivado de las críticas condiciones locativas y la ejecución de tareas monótonas y repetitivas por periodos prolongados; riesgo ergonómico por las posturas obligadas que se derivan de los espacios reducidos de trabajo.²³

Es evidente que la aplicación sistemática de medidas de protección respiratoria, así como las mediciones de las concentraciones de partículas en el aire al interior de los socavones no siempre se adelanta con rigurosidad, razón por la cual la exposición respiratoria es sostenida a lo largo de toda la vida laboral. Se esperaría que los hallazgos de este estudio constituyan base conceptual para la implementación de medidas de control de tipo higiénico ocupacional que permitan disminuir los niveles de exposición respiratoria.

Conclusiones

La exposición respiratoria continua a polvo de carbón y sílice, incluso por periodos relativamente cortos de tiempo es causa de depósitos al interior del parénquima pulmonar, capaces de alterar, posterior al desarrollo de procesos inflamatorios, la estructura de la membrana alveolo-capilar; y con ello, los porcentajes de saturación arterial de Oxihemoglobina, modificando significativamente los valores de SPO_2 , cuando los sujetos se someten a la práctica de ejercicio físico moderado.

La Pulsioximetría, realizada durante la prueba de marcha de seis minutos (6MWT) se perfila como una metodología diagnóstica útil y costo-efectiva para controlar, mediante tamizajes continuos de salud ocupacional, los niveles de exposición y la evolución del estado de salud de los trabajadores de la minería artesanal.

Agradecimientos

Los autores hacen expresa manifestación de gratitud a las directivas de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Boyacá por el apoyo logístico prestado para la ejecución de este trabajo; de la misma manera a los trabajadores de esta universidad y a los mineros que generosamente aportaron voluntad, tiempo y esfuerzo en la ejecución del proyecto.

Conflicto de intereses: ninguno. El proyecto fue financiado por los grupos de investigación Oxigenar de la Universidad de Boyacá y el Grupo de Salud Pública de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC.

Referencias

1. Finkelman RB, Orem W, Castranova V, Tatu CA, Belkin HE, Zheng B, et al. Health impacts of coal and coal use: possible solutions. *International Journal of Coal Geology*. 2002;50(1):425-43.
2. Walli R. Mine dusts. In: Hartman H, Mutmansky J, Wang Y, editors. *Mine ventilation and*

- air conditioning. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company. 1991. p. 84-130.
3. Borm Paul J, Tran L. From quartz hazard to quartz risk: the coal mines revisited. *Annals of Occupational Hygiene*. 2002;46(1):25-32.
 4. González NM, Manrique-Abril FG, Ospina JM, Roa MA, Hurtado VE. Utilidad de las técnicas de espirometría y oximetría en la predicción de alteración pulmonar en trabajadores de la minería del carbón en Paipa-Boyacá. *Rev Fac Med*. 2009;57(2):100-10.
 5. NIOSH U. NIOSH criteria documents, criteria for a recommended standard: occupational exposure to respirable coal mine dust. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1995. P. 95-106.
 6. Onder M, Onder S. Evaluation of occupational exposures to respirable dust in underground coal mines. *Industrial health*. 2009;47(1):43-9.
 7. Moreno R. Fisiopatología de la obstrucción bronquial difusa. *Bol Esc Med*. 1995;24:4-6.
 8. Díaz O. Trastornos de la Relación V/Q. In: Cruz E, editor. *Aparato respiratorio*. Santiago-Chile: Universidad Católica de Chile; 2012. Disponible en: <http://escuela.med.puc.cl/publ/AparatoRespiratorio/Indice.html> (Consulta: 21-09-2012).
 9. Casanova C, Velasco MdV, De Torres JP. La prueba de la marcha de 6 minutos en las enfermedades respiratorias crónicas. *Medicina Respiratoria*. 2011;4(1):57-67.
 10. Guyatt G, Pugsley S, Sullivan M, Thompson P, Berman L, Jones N, et al. Effect of encouragement on walking test performance. *Thorax*. 1984;39(11):818-22.
 11. Cartagena C, Caviedes I, Céspedes J, Gutiérrez-Navas M. Prueba de caminata de seis minutos. *Rev Chil Enf Respir*. 2009;25:15-24.
 12. Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age-and sex specific prediction formulas. *British journal of nutrition*. 1991;65:105-114.
 13. Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respiratory and Critical Care Medicine*. 1998;158(5):1384-7.
 14. Vargas C, Mejía R, Martínez R, Silva M, Vázquez JC, Torre L. Prueba de desaturación y titulación de oxígeno suplementario. Recomendaciones y procedimientos. *Neumol Cir Torax*. 2009;68(4):162-73.
 15. Reesink HJ, van der Plas MN, Verhey NE, van Steenwijk RP, Kloek JJ, Bresser P. Six-minute walk distance as parameter of functional outcome after pulmonary endarterectomy for chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2007;133(2):510-6.
 16. Verrill D, Barton C, Beasley W, Lippard WM. The effects of short-term and long-term pulmonary rehabilitation on functional capacity, perceived dyspnea, and quality of life. *CHEST*. 2005;128(2):673-83.
 17. Vilaró J, Roca J, Rabinovich R. Evaluación de la tolerancia al ejercicio en pacientes con EPOC. Prueba de marcha de 6 minutos. *Arch Bronconeumol*. 2004;40(2):80-5.
 18. Morante F, Güell R, Mayos M. Eficacia de la prueba de los 6 minutos de marcha en la valoración de la oxigenoterapia de deambulación. *Arch Bronconeumol*. 2005;41(11):596-600.
 19. Shieh-Ching Y, Yu-Fan L. Airway function and respiratory resistance in Taiwanese coal workers with simple pneumoconiosis. *Chang Gung Med J*. 2009;32(4):438-46.
 20. Rosenman KD, Reilly MJ, Kalinowski DJ, Watt FC. Silicosis in the 1990. *CHEST*. 1997;111(3):779-86.
 21. Ridruejo R, Serrano P, Pascual I, Suárez MÁ, Zalba B, Tarancón C, et al. El test de la marcha de los seis minutos en hipertensión pulmonar de cualquier etiología. *Archivos de Medicina*. 2009;5(3):7p.
 22. Chicharro JL, Vaquero AF. *Fisiología del ejercicio*. 3a ed. Madrid: Ed. Médica Panamericana; 2008.
 23. Ospina Díaz JM, Manrique-Abril FG, Guío Garzón JA. Salud y trabajo: Minería artesanal del carbón en Paipa. *Avances en Enfermería*. 2010;28(1):107-15.