

# Variación del nivel de carboxihemoglobina en corredores aficionados en ambientes con tránsito de vehículos motorizados en el distrito de San Isidro.

Variation in the level of carboxyhemoglobin among city runners in environments with motor vehicle transit at the San Isidro District.

PONCE TERASHIMA Rafael Andrés, PEÑA JAIMES Lourdes Rocío, RAMIREZ YUPANQUI Marco Antonio, VILLENA CHÁVEZ Jorge<sup>1</sup>, ROE BATTISTINI Eduardo<sup>2</sup>, VILLENA CHÁVEZ Jaime<sup>3</sup>.

## SUMMARY

*Objectives:* a) To assess the exposure to carbon monoxide of city runners after running during high and low traffic hours, b) To establish day time periods outdoor exercise in an urban area with motorized traffic could be done. *Material and methods:* Eleven non smoking city runners, 23 to 41 years old, with no medical history of heart or respiratory disease; ran around the “El Golf” Club in the district of San Isidro. Carboxyhemoglobin blood levels were determined before and after running for 45 minutes during high and low traffic hours. Carbon monoxide air concentration at the runners’ pathway was measured simultaneously by a portable gas analyzer. *Results:* There was a statistically significant increase in carboxyhemoglobin blood levels after running during high traffic hours (0.44% to 0.54%,  $p=0.039$ ). After running during low traffic hours, carboxyhemoglobin blood levels did not change significantly (0.45% to 0.43%,  $p=0.722$ ). The mean difference of carboxyhemoglobin blood levels before and after running did not show a significant difference between high and low traffic hours. The carbon monoxide air concentration level was not constant. *Conclusions:* The present study shows an increase in carboxyhemoglobin blood levels after running during high traffic hours, however carboxyhemoglobin blood levels remained within the normal range. In this urban area there is no risk of carbon monoxide contamination during outdoor exercise in any of the two daytime periods tested. (*Rev Med Hered 2005;16:266-272*).

**KEY WORDS:** Carboxyhemoglobin, exercise, carbon monoxide, vehicle emissions, environmental pollution.

## RESUMEN

*Objetivos:* a) Determinar el grado de contaminación por monóxido de carbono en corredores aficionados de áreas urbanas y su variación al correr en horarios de alto y bajo tránsito vehicular, b) Definir periodos del día en los que

---

<sup>1</sup> Laboratorio de Ingeniería de Higiene y Seguridad Ambiental. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú,

<sup>2</sup> Médico. Laboratorios Roe SCRL. Lima- Perú

<sup>3</sup> Profesor Principal. Departamento Académico de Medicina. Laboratorio de Endocrinología. Facultad de Medicina Alberto Hurtado Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima- Perú

se puede realizar ejercicio en áreas con tránsito vehicular. **Materiales y Métodos:** Once corredores aficionados de 23 a 41 años de edad no fumadores, sin historia de cardiopatía ni enfermedades respiratorias; corrieron alrededor del Club "El Golf" en el distrito de San Isidro. Se determinó la concentración sanguínea de carboxihemoglobina de cada corredor antes y después de correr durante 45 minutos en horarios de alto y bajo tránsito vehicular. Simultáneamente se midió la concentración de monóxido de carbono en el aire mediante un analizador portátil en el recorrido. **Resultados:** En el horario de alto tránsito vehicular se encontró una variación de Carboxihemoglobina estadísticamente significativa (de 0,44% a 0,54%,  $p=0,039$ ). En el horario de bajo tránsito vehicular no se encontró variación de Carboxihemoglobina estadísticamente significativa (de 0,45% a 0,43%,  $p=0,722$ ). Al comparar la variación de Carboxihemoglobina de ambos horarios, la diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p=0,219$ ). La medición de monóxido de carbono en el aire no mostró concentraciones constantes. **Conclusiones:** Este estudio demuestra un aumento en los niveles de Carboxihemoglobina durante el horario de alto tránsito vehicular, sin embargo los valores de Carboxihemoglobina permanecieron dentro de valores normales. En esta zona urbana se puede realizar ejercicio físico al aire libre en cualquiera de los dos horarios, sin riesgo de contaminación por monóxido de carbono. (*Rev Med Hered 2005;16:266-272*).

**PALABRAS CLAVE:** Carboxihemoglobina, ejercicio, monóxido de carbono, emisiones de vehículos, contaminación ambiental.

## INTRODUCCIÓN

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro, que se emite a la atmósfera como resultado de procesos de combustión, y también de la oxidación de hidrocarburos y otros compuestos orgánicos. La emisión anual global de CO a la atmósfera se ha estimado en 2 600 millones de toneladas, siendo el 60% debido a la actividad humana y el 40% restante a procesos naturales (1). La principal fuente de actividad humana de CO es la combustión incompleta de combustibles como la gasolina (2).

Los resultados del Programa Nacional de Vigilancia en la Calidad de Aire efectuado por la Dirección General de Salud Ambiental para el año 2001 en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, muestran que en general los distritos que conforman la zona Metropolitana, soportan niveles de contaminación máxima de CO para 1 hora de aproximadamente 7 partes por millón (ppm) menor que las 25,8 ppm recomendados por la Organización Mundial de la Salud (3).

De acuerdo a la información recopilada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en el monitoreo de los Contaminantes Gaseosos: Monóxido de Carbono y Ozono Troposférico en la Estación de Calidad del Aire ubicada en su Sede Central, Jesús María, correspondiente al mes de enero (del día 22 al 31) del 2004; encontraron que los mayores valores de contaminación por CO se presentan durante las horas de mayor carga vehicular; siendo el máximo promedio horario de 3,2 ppm alcanzado el día 23 a las 8:00 horas. La variación media horaria muestra dos picos predominantes durante el día, el primero desde las 8:00 a 10:00 horas y el segundo desde las 19:00 a 21:00 horas; predominando el pico de la noche (1,9

ppm) sobre el correspondiente a la mañana (1,8 ppm) (3).

La concentración ambiental de CO depende principalmente de la densidad vehicular, y está influenciada por la topografía y condiciones climáticas. En las calles la concentración de CO es máxima en el sotavento a nivel del pavimento, y ésta disminuye considerablemente con la altura (4).

El realizar ejercicio aeróbico de manera regular promueve cambios fisiológicos que disminuyen la morbilidad e incrementan la longevidad (5,6). Por este motivo muchos médicos recomiendan el ejercicio como intervención terapéutica en ciertas enfermedades (hipertensión arterial, diabetes mellitus, enfermedad coronaria, etc.), realizándose en áreas urbanas cercanas a calles o avenidas con tránsito vehicular.

Según McCaVerty, existen 3 razones por las que los atletas tienen mayor susceptibilidad y exposición a la inhalación de contaminantes que el resto de la población. Primero, la cantidad de contaminantes inhalados aumenta de manera proporcional al aumento del volumen minuto durante el ejercicio. Segundo, durante el ejercicio la fracción de aire inhalado a través de la boca es mayor, evitando su paso normal por la nariz, donde se dan los mecanismos de filtración de grandes partículas y de vapores solubles. Tercero, la elevada velocidad de flujo de aire transporta los contaminantes a zonas más profundas del tracto respiratorio (7). Además, se ha demostrado que la capacidad de difusión pulmonar aumenta con el ejercicio (8).

Existe una relación lineal positiva entre la concentración de CO ambiental y la absorción de CO por el alveolo (9). Al ingresar el CO al torrente sanguíneo

se une a la hemoglobina formando carboxihemoglobina (COHb). La hemoglobina posee una afinidad 200 a 240 veces mayor por el CO que por el oxígeno (9). La presencia de CO en el aire inhalado conlleva gradualmente a hipoxia (10). El aumento en la absorción de CO desvía la curva de disociación de la oxihemoglobina hacia la izquierda y disminuye la tensión de oxígeno (10). En respuesta, la frecuencia ventilatoria aumenta lo que ocasiona mayor concentración de CO inhalado en los alvéolos que se absorbe al torrente sanguíneo y la toxicidad por CO se hace más pronunciada.

En sujetos sin exposición a CO ambiental la producción endógena de CO da como resultado niveles de COHb de 0,4 a 0,7% (11). Un estudio realizado en Minas Gerais, Brasil, muestra valores de referencia de COHb de  $1,0\% \pm 0,75$  en 200 voluntarios no fumadores no expuestos a CO (12).

La formación de COHb es reversible y la exposición a aire limpio remueve el gas del organismo, con un tiempo de vida media de 4 a 6 horas (13).

La intoxicación por CO produce síntomas inespecíficos (cefalea, mareos, confusión, náuseas, vómitos) cuando los niveles de COHb se encuentran por encima del 10%. Valores de COHb mayores a 40% producen coma, y valores mayores a 50% suelen ser letales (1).

Sin embargo algunos estudios reportan que a menores concentraciones de COHb (2% a 6%) en pacientes con enfermedad coronaria, se producen cambios isquémicos y arritmias ventriculares (14,15,16). La exposición aguda a CO que conlleva a niveles de COHb de 4 a 6% durante ejercicio reduce significativamente el desempeño físico en hombres jóvenes saludables (17,18,19). Un estudio realizado en corredores de la ciudad de Nueva York mostró un aumento de 1,7% a 5,1% en los niveles de COHb luego de 30 minutos de ejercicio cerca de autopistas (20). Estos niveles de COHb son semejantes a los encontrados en fumadores crónicos (11).

El propósito de este estudio es determinar el grado de contaminación por CO en corredores aficionados y su variación luego de correr en una zona urbana en los horarios con alto y bajo tránsito vehicular, valorado por la determinación de COHb, y si existe diferencia entre estos horarios. De esta forma se podrían establecer horarios seguros para realizar ejercicio al

aire libre en dicha zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los participantes fueron reclutados de la Asociación Cristiana de Jóvenes (ACJ) Lima – Perú. Nuestra muestra fue de 11 corredores aficionados voluntarios cuyas edades fueron de 23 a 41 años (edad promedio 30,4 años), siendo 2 mujeres y 9 varones. Todos los participantes eran no fumadores, sin historia de cardiopatía o enfermedad respiratoria y no tomaban ninguna medicación. Los 11 corredores tuvieron examen físico normal. El estudio fue aprobado por el Comité Institucional de Ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y cada participante dio su consentimiento informado por escrito.

A todos los participantes se les tomó una primera muestra de sangre venosa (3cc) en reposo físico en las instalaciones de Laboratorios Roe SCRL, Jesús María, para la medición de COHb basal. Posteriormente fueron trasladados en automóviles al Club “El Golf” en el distrito de San Isidro donde corrieron alrededor de dicho Club durante 45 minutos. Inmediatamente después fueron trasladados en los mismos automóviles a Laboratorios Roe SCRL en Jesús María donde se tomó una segunda muestra de sangre venosa para la medición de COHb control post ejercicio. El tiempo total de permanencia en los automóviles durante el traslado no excedió los 20 minutos. Este procedimiento se realizó en dos periodos del día, matutino (bajo tránsito vehicular, entre las 6:00 a 8:00 horas) y nocturno (alto tránsito vehicular, entre las 19:00 a 21:00 horas), según un estudio realizado por la Dirección Municipal de Transporte Urbano en la intersección Av. Conquistadores-Av. Paz Soldán en octubre 2004 (21). El intervalo entre cada procedimiento fue mayor a 24 horas. La toma de muestras se realizó en tubos heparinizados debidamente sellados. Las muestras fueron procesadas inmediatamente después de ser obtenidas determinándose el nivel de COHb mediante el método fotocolorimétrico con un Co-Oxímetro 280 (Instrumentation Laboratory, Lexington EEUU).

Se realizó la medición de CO en el aire utilizando el analizador portátil de gases MultiRAE IR (Raesystems, California, EEUU) equipado con un sensor electroquímico de CO, durante los 45 minutos de ejercicio en 2 puntos del recorrido. Previo a dicha medición se calibró el analizador de gases con un cilindro conteniendo CO a una concentración de 50 ppm, de acuerdo al manual del fabricante. La calibración estuvo

a cargo del personal de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Asimismo se utilizó el mismo analizador de gases para la medición de CO en la cabina de los automóviles, registrándose valores constantes de 0 ppm.

Las condiciones climáticas, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi), fueron distintas en el horario matutino y en el nocturno. En la mañana la velocidad del viento varió de 4 a 12 Km/h, y en la noche de 8 a 18 Km/h, en dirección Sur Oeste. La temperatura en la mañana y en la noche fueron similares (de 19,6 a 27,7 °C y de 21 a 28 °C, respectivamente).

Los participantes fueron su propio control. Los valores de la variación en el nivel de Carboxihemoglobina mostraron una distribución normal con la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, por lo que se utilizó la prueba T de Student para muestras pareadas y así poder comparar la COHb inicial con la COHb final en cada horario, y la media de la variación entre ambos horarios. Se consideró significativo un valor  $p < 0,05$ . El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS v12,0 para Windows.

## RESULTADOS

Los 11 participantes con edad promedio 30,4 años (2 mujeres y 9 varones) corrieron entre las 19:00 y 21:00 horas. Sólo 8 de ellos corrieron entre las 6:00 y 8:00 horas, los 3 corredores restantes no pudieron participar por asuntos personales ajenos al estudio.

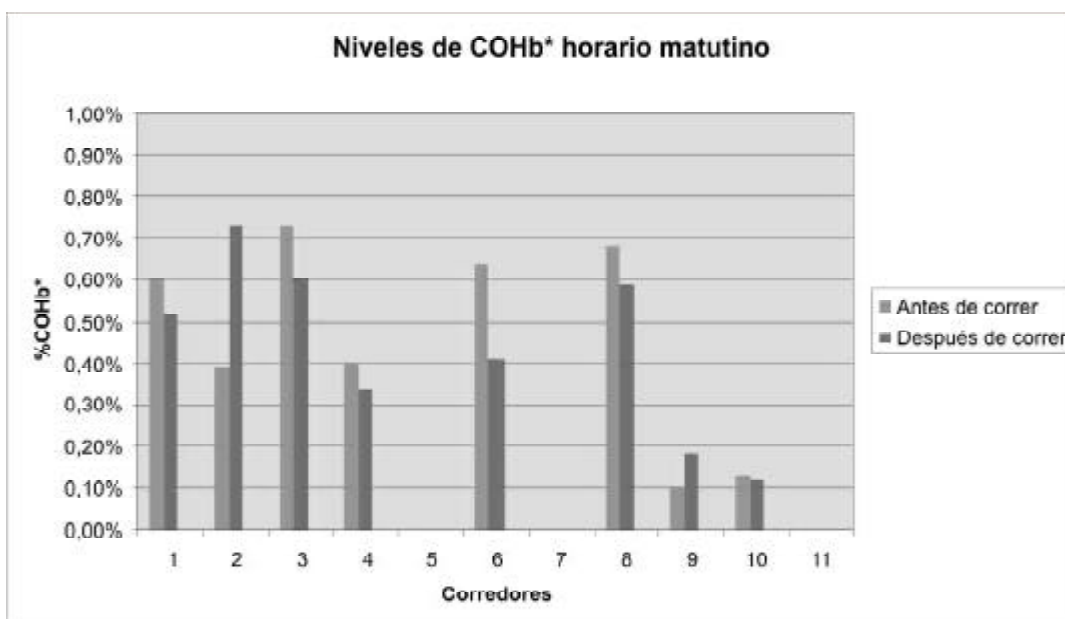
En el horario matutino, las medias del nivel de COHb antes y después de correr fueron  $0,46\% \pm 0,25$  y  $0,44\% \pm 0,21$ ; respectivamente. No se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0,72$ ) (Gráfico N°1).

En el horario nocturno, las medias del nivel de COHb antes y después de correr fueron  $0,44\% \pm 0,21$  y  $0,54\% \pm 0,25$ ; respectivamente. La variación media fue  $+ 0,100\%$  (intervalo de confianza 95%: 0,006 a 0,195%). Se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0,03$ ;  $t = 2,38$ ) (Gráfico N° 2).

Al comparar la variación del horario nocturno con la variación del horario matutino, no se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0,21$ ).

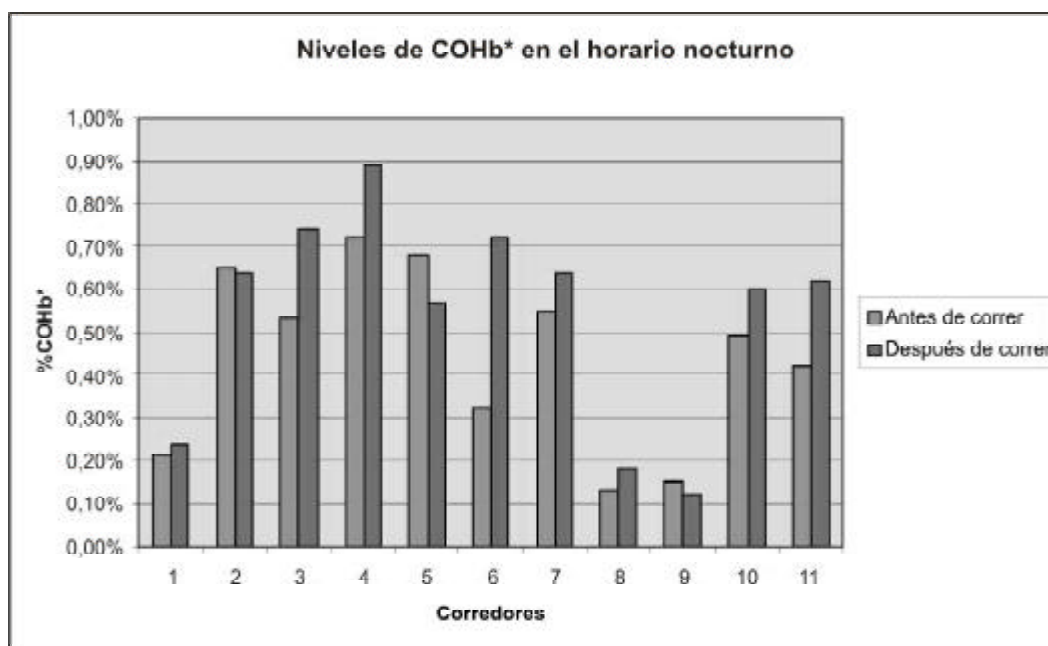
Los valores de CO en el aire no siguieron una distribución normal. La mediana de la concentración de CO en el aire en dos puntos del recorrido (22 minutos

**Gráfico N°1: Niveles de Carboxihemoglobina antes y después de correr en el horario matutino (bajo tránsito vehicular). Los corredores n° 5, 7, y 11 se retiraron en esta fase del estudio.**



\*COHb: Carboxihemoglobina

**Gráfico N° 2. Niveles de carboxihemoglobina de los 11 corredores, antes y después de correr en el horario nocturno (alto tránsito vehicular).**



\* COHb, carboxihemoglobina

en cada punto) durante el horario nocturno fue de 0ppm (intervalo: 0 a 38,4ppm). Se registraron elevaciones aisladas de CO en el aire.

La mediana de la concentración de CO en el aire en los mismos puntos del recorrido durante el horario matutino fue de 0 ppm.

## DISCUSIÓN

Este estudio muestra que luego de correr con alto tránsito vehicular alrededor del Club "El Golf" en el horario de 19 a 21 horas, los niveles de COHb en la sangre aumentaron levemente en forma significativa.

Al correr con bajo tránsito vehicular en el horario de 6:00 a 8:00 horas no se encuentra variación significativa de la COHb antes y después de correr. Sin embargo al comparar las variaciones entre ambos horarios no se encuentra una diferencia significativa. Esto podría explicarse por tener menor número de participantes en la mañana (n = 8), excluyéndose los resultados de 3 corredores de la noche al hacer la comparación, que disminuye el tamaño muestral.

Otra explicación a que no se haya encontrado diferencia significativa al comparar las variaciones entre ambos horarios sería el amplio periodo del horario matutino seleccionado para este estudio. La Dirección

de Transporte Urbano en un estudio realizado en San Isidro (21) muestra que a partir de las 7:30 horas el tránsito vehicular aumenta progresivamente. Al ser el horario matutino de este estudio desde las 6:00 a 8:00 horas, el aumento en el flujo vehicular en la última media hora del periodo podría explicar el aumento en el nivel de COHb post ejercicio de los corredores 2 y 9, resultando en una menor diferencia al comparar las variaciones de los horarios matutino con el nocturno.

Los niveles de COHb no superaron los límites aceptables (< 1%) en ningún participante, a diferencia del estudio de Nicholson y Case (20) realizado en Nueva York donde encontraron variación en la COHb de 1,7 a 5,1% luego de correr en zonas urbanas durante las horas punta de tránsito vehicular.

El aumento en los niveles de COHb encontrados durante el horario de alto tránsito vehicular no es clínicamente significativo. A pesar de haber estudios donde se describen efectos perjudiciales en el desempeño físico y a nivel cardiovascular con niveles bajos de COHb (2 a 6%), éstos no fueron alcanzados en nuestro estudio (14-16).

Los bajos valores de COHb alcanzados en el horario nocturno en este estudio pueden explicarse por las bajas concentraciones de CO registradas por el analizador portátil de gases, factores meteorológicos, y la densidad

no tan marcada del tránsito vehicular.

El analizador de gases registró elevaciones aisladas de CO durante la noche que disminuían rápidamente (2 minutos). Esta disminución podría ser explicada por la alta velocidad del viento (de 8 a 18 Km/h) (22). Un estudio en Finlandia mostró que la concentración de CO dentro de los automóviles disminuía marcadamente al ser la velocidad del viento mayor a 7,2 Km/h (23). Además pueden haberse presentado otras elevaciones aisladas de CO en puntos del recorrido no medidos.

La exposición intermitente de los corredores a estas concentraciones de CO puede explicar la discreta elevación de COHb.

La Dirección de Transporte Urbano en un estudio realizado en la intersección de las Avenidas Conquistadores - Paz Soldán, San Isidro, (21) muestra dos horas punta de tránsito vehicular durante el día, predominando la suma horaria de vehículos en la hora punta de la mañana (917 vehículos de 8:30 a 9:30 horas) sobre la de la noche (470 vehículos de 19:00 a 20:00 horas). La velocidad del viento según el SENAMHI durante las horas de la mañana fue baja (4 a 12 Km/h), ésta junto a una mayor suma horaria de vehículos en la hora punta de la mañana con respecto a la de la noche, hace pensar que la concentración de CO en el aire en el horario matutino sea mayor a la del horario nocturno registrado en nuestro estudio. Por lo tanto se sugiere ampliar el estudio en este horario.

Las entidades encargadas del monitoreo ambiental de nuestro medio no disponen de datos epidemiológicos suficientes para evaluar de manera sistemática y rigurosa la presencia de los diferentes contaminantes del aire en Lima Metropolitana.

Por lo tanto nuestro estudio muestra que en la zona urbana del Club "El Golf" en San Isidro, no hay riesgo de contaminación por CO en los dos horarios estudiados. Sin embargo esto no descarta la exposición a otros contaminantes del aire originados por vehículos motorizados en dichos horarios.

En nuestra capital existen numerosas áreas urbanas donde se practica ejercicio al aire libre con alto tránsito vehicular, por lo que ameritaría hacer estudios en dichas zonas.

Asimismo existen numerosas personas que tienen actividad laboral (comerciantes, policías, chóferes de

transporte, etc.) en vías públicas con alto tránsito vehicular, en las cuales debiera investigarse la probabilidad de contaminación por CO.

### Correspondencia

Rafael A. Ponce Terashima

Correo electrónico: [rafaelponceterashima@hotmail.com](mailto:rafaelponceterashima@hotmail.com)

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Office of Research and Development. US Environmental Protection Agency. Air quality criteria for carbon monoxide. Washington DC:US Environmental Protection Agency; 1991.
2. Cullis CF, Hirschler MM. Man's emissions of carbon monoxide and hydrocarbons into the atmosphere. *Atmos Environ* 1989; 23:1195-1203.
3. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Boletín Meteorológico e Hidrológico del Perú 2004:40-53.
4. Rudolf W. Concentration of air pollutants inside cars driving on highways and in downtown areas. *Sci Total Environ* 1994; 146/147: 433-444.
5. Lee IM, Hsieh CC, Paffenbarger RS Jr. Exercise intensity and longevity in men. The Harvard Alumni Health Study. *JAMA* 1995; 273(15):1179-84.
6. Canadian Fitness and Lifestyle Research Institute. Physical activity: Health benefits and costs to health care system. En: Editorial board meetings 1999. [http://www.cflri.ca/cflri/news/99/9903\\_1.html](http://www.cflri.ca/cflri/news/99/9903_1.html) (Acceso el 13 de Junio de 2003).
7. McCafferty WB, Horvath SM. Air pollution and athletic performance. Springfield: Charles C Thomas; 1981.
8. Turcotte RA, Perrault H, Marcotte JE, et al. A test for measurement of pulmonary diffusion capacity during high intensity exercise. *J Sports Sci* 1992; 10:229-35.
9. Turino GM. Effects of carbon monoxide on the cardiorespiratory system. Carbon monoxide toxicity: physiology and biochemistry. *Circulation* 1981; 63(1):253A-9A.
10. Duvelleroy MA, Mehmehl H, Laver MB. Haemoglobin-oxygen equilibrium and coronary blood flow: an analog model. *J Appl Physiol* 1973; 35(4):480-484.
11. WHO Regional Office for Europe. Carbon monoxide. En: Air Quality Guidelines for Europe. 2nd edition. Copenhagen: WHO Regional Publications; 2000:75-79.
12. De Siquiera ME, Martins I, Costa AC, Andrade EL, Esteves MT, Lima SE. Valores de referência para carboxihemoglobina. *Rev Saúde Pública* 1997; 31(6):618-623.
13. Cohen MA, Guzzardi LJ. Inhalation of products of combustion. *Ann Emerg Med* 1983; 12(10):628-632.
14. Anderson EW, Andelman RJ, [Strauch JM](#), [Fortuin NJ](#), [Knelson JH](#). Effect of low level carbon monoxide exposure on onset and duration of angina pectoris. *Ann Intern Med* 1973; 79(1):46-50.

15. Sheps DS, Herbst MC, Hinderliter AL, et al. Production of arrhythmias by elevated carboxyhemoglobin in patients with coronary disease. *Ann Intern Med* 1990; 113(5):343-351.
16. Pribyl CR, Racca J. Toxic gas exposures in ice arenas. *Clin J Sports Med* 1996; 6(4):232-236.
17. Adir Y, Merdler A, Ben Haim S. Effects of exposure to low concentrations of carbon monoxide on exercise performance and myocardial perfusion in young healthy men. *Occup Environ Med* 1999; 56(8):535-38.
18. Horvarth S. Impact of air quality on exercise performance. *Exerc Sports Sci Rev* 1981; 9:265-296.
19. Gong H Jr, Krishnareddy S. How pollution and airborne allergens affect exercise. *Phys Sportsmed* 1995; 23:35-42.
20. Nicholson JP, Case DB. Carboxyhemoglobin levels in New York City runners. *Phys Sportsmed* 1983; 11(3): 135-138.
21. Dirección Municipal de Transporte Urbano de Lima. Municipalidad Metropolitana de Lima. Asesoría de Ingeniería. Flujos Vehiculares Direccionales en San Isidro. 2004.
22. Zagury E, Le Moullec Y, Momas I. Exposure of Paris taxi drivers to automobile air pollutants within their vehicles. *Occup Environ Med* 2000; 57:406-410.
23. Sari A, Matti J, Matti V. Urban commuter exposure to particulate matter and carbon monoxide inside an automobile. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1999; 9:237-244.

Recibido: 05/07/05

Aceptado para publicación: 07/10/05