

“RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DURANTE LA PRUEBA DE EJERCICIO GRADUAL REALIZADA SOBRE UNA CINTA SINFIN EN RELACIÓN CON EL EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE A ATAQUES QUÍMICOS”

LA PREGUNTA QUE NOS PLANTEAMOS siempre que se habla de la utilización de estos equipos, es si se necesita una preparación especial o, mejor dicho, si se produce un desgaste fisiológico importante que limite y/o impida su utilización.

Para la prueba se utiliza un traje que es impermeable a algunos productos en estado gaseoso y a otros en estado líquido. Este traje limitará la transpiración y, por lo tanto, la refrigeración del participante.

En el estudio se relaciona la subida de temperatura con el agotamiento físico. Las subidas de temperatura desencadenan un sobreesfuerzo respiratorio para disminuir la temperatura corporal. Lo que se quiere analizar es el aumento de la temperatura producido por el traje, que genera un sobreesfuerzo respiratorio significativamente diferente al que se produciría sin traje.

Resultados obtenidos en la investigación. Se produce una subida en la frecuencia cardíaca y un aumento en la temperatura, que se considera normal como consecuencia de la realización del ejercicio (no hay diferencia estadísticamente significativa entre los valores de las 2 pruebas). Un dato destacable es que la mayor subida de la temperatura se produce tras la finalización del ejercicio. El aumento de la temperatura no genera un sobreesfuerzo tan elevado que sea significativo al comparar las 2 pruebas.

Los resultados indican que no hay una variación importante en los parámetros analizados que impida la utilización de equipos de protección por componentes de un servicio de emergencias médicas (SEM) con una salud “normal”. Por tanto, es factible la implicación de los SEM en intervenciones con riesgo químico utilizando trajes de protección. Así, la asistencia sanitaria se inicia lo antes posible, reduciendo la morbilidad. Para obtener mejores datos es importante ampliar el estudio utilizando distintos equipos de protección respiratoria, que modifican los parámetros respiratorios.

Estos estudios son fundamentales para **conocer la respuesta fisiológica** que se produce como consecuencia a la utilización de equipos de protección.

Conociendo que es posible la utilización de equipos de protección, los distintos servicios deben plantearse los procedimientos de intervención coordinada con los otros participantes.

En el servicio SAMUR-Protección Civil se han realizado estudios acerca de la alteración de parámetros respiratorios y electroquímicos, analizando sangre venosa, como consecuencia de la utilización de distintos equipos de protección. Los resultados de todos ellos están en la línea de los resultados del presente estudio, si bien hay que matizar que son los equipos de protección respiratoria los que limitarían la actuación en el tiempo, al modificar los parámetros respiratorios y no los trajes.

Juan José Giménez Mediavilla

*Comisión de Actuación frente a Riesgos Nucleares, Radiológicos y Químicos (NRBQ). Servicio SAMUR.
Protección Civil del Ayuntamiento de Madrid. Madrid. España*

**RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DURANTE LA PRUEBA DE EJERCICIO GRADUAL REALIZADA
SOBRE UNA CINTA SINFIN EN RELACIÓN CON EL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
FRENTE A ATAQUES QUÍMICOS**

A MEDIDA QUE SE INCREMENTA LA PROBABILIDAD DE ACTOS TERRORISTAS, EL PERSONAL PREHOSPITALARIO SE HA VISTO OBLIGADO A FORMARSE EN EL USO APROPIADO DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI) FRENTE A ATAQUES QUÍMICOS.

- **El EPI de nivel C** incluye un mono con capucha impermeable frente a sustancias químicas, guantes, botas y un respirador para la purificación del aire, y permite la evaluación y la descontaminación de las víctimas en un contexto de seguridad.
- **Desde el punto de vista fisiológico**, es exigente para la persona que lo utiliza debido a que le impone una carga térmica adicional que se acompaña de deshidratación, hipertermia y reducción del tiempo de trabajo.
- Nuestra **hipótesis** ha sido que la carga térmica sobreañadida resultante del trabajo realizado con uso del EPI reduce el tiempo de trabajo e incrementa la temperatura corporal central.
- Los participantes realizaron una **prueba de Bruce sobre cinta sinfín** para evaluar **las respuestas cardiovascular, termorreguladora y perceptual**.
- En este protocolo, el sujeto comienza a caminar a una velocidad de 2,74 km/h hasta un grado de inclinación del 10%. Después, el grado de inclinación de la cinta y la velocidad se incrementan cada 3 min hasta que el individuo alcanza una situación de fatiga por voluntad propia en un tiempo bastante corto (generalmente < 20 min).
- Durante la prueba, un espirómetro con circuito abierto (Parvomedics Inc, Utah) calculó en cada momento el VO_2 , el VCO_2 y el cociente de intercambio respiratorio (un indicador de la proporción del metabolismo de los lípidos y la glucosa). Los analizadores electrónicos fueron calibrados antes de cada prueba de ejercicio mediante el uso de gases de referencia estándar.
- **La frecuencia cardíaca, la temperatura corporal central y la temperatura cutánea** (tórax, espalda, tríceps y parte anterior del muslo) se determinaron cada minuto durante el ejercicio y durante los 5 min posteriores a éste. La frecuencia cardíaca se determinó mediante un monitor de frecuencia cardíaca Polar (Polar Electro Oy, Finlandia). La temperatura corporal central se determinó mediante un comprimido indigerible y un receptor de radio (HQ Inc., Florida).
- **La valoración del ejercicio** percibido se llevó a cabo la escala OMNI RPE, en la que las percepciones van desde cero ("extremadamente suave") hasta 10 ("extremadamente duro"). La sobrecarga térmica se evaluó mediante una escala de sensación de comodidad con puntuaciones entre 1 ("muy cómodo") y 4 ("muy incómodo"); la escala de sensación térmica de Gagee con puntuaciones entre 1 ("muy cómodo") y 5 ("mucho calor"), y una escala de sensación de sudoración con puntuaciones entre 0 ("nada en absoluto") y 3 ("sudoración profusa").
- No se ha cumplido nuestra hipótesis de un incremento de la temperatura corporal central y de una disminución del tiempo de trabajo. La carga térmica que conlleva este episodio breve de trabajo con el EPI (aproximadamente, 10 min) no es diferente de la que tiene lugar cuando los participantes utilizan pantalones cortos y una camiseta de algodón.
- Es probable que el esfuerzo realizado durante una prueba sobre cinta sinfín con inclinación diera lugar a una **sobrecarga del sistema cardiovascular** antes de que el EPI pudiera influir significativamente en la termorregulación.
- Es necesaria la consideración del ajuste cardiorrespiratorio a la hora de asignar el trabajo con uso de un EPI resistente a productos químicos, especialmente en las tareas que requieren un **trabajo de gran intensidad** (evacuación de las víctimas en el escenario de un incidente y la función de rescate del rescatador del equipo de intervención rápida).

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DURANTE LA PRUEBA DE EJERCICIO GRADUAL REALIZADA SOBRE UNA CINTA SINFIN EN RELACIÓN CON EL EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE A ATAQUES QUÍMICOS

William E. Northington, MD; Joe Suyama, MD; Fredric L. Goss, PhD; Colby Randall;
Michael Gallagher, y David Hostler, PhD, CSCS

RESUMEN

Contexto. A medida que se incrementa la probabilidad de actos terroristas, el personal prehospitalario se ha visto obligado a formarse en el uso apropiado de los equipos de protección individual (EPI) frente a ataques químicos. Se ha señalado que este equipo de protección conlleva un elevado coste fisiológico para la persona que lo utiliza, dando lugar a una carga térmica adicional que causa deshidratación, hipertermia y pérdida de tiempo de trabajo. La evacuación de las víctimas, la función de rescate del rescatador por parte del equipo de intervención rápida y la autoevacuación requieren característicamente un trabajo de intensidad elevada que solamente se puede mantener durante intervalos de tiempo cortos. La carga fisiológica adicional que conlleva el EPI de nivel C durante el trabajo de intensidad elevada es desconocida. **Objetivo.** Nuestra hipótesis es que la carga térmica sobreañadida asociada al uso del EPI reduce el tiempo de trabajo y da lugar a un incremento de la temperatura corporal central durante el ejercicio gradual sobre una cinta sinfin. **Método.** En este estudio de laboratorio realizado con un diseño prospectivo y transversal, los profesionales del servicio de emergencias médica (SEM) ($n = 8$; 5 varones) completaron una prueba de Bruce sobre cinta sinfin en 2 ocasiones: una de ellas con uso del EPI frente a ataques químicos y de un respirador (grupo EPI) y la otra en pantalones cortos y camiseta (grupo PCC). A lo largo de los 2 tipos de prueba se determinaron el consumo de oxígeno, los signos vitales, las temperaturas corporales central y cutánea, y diversos parámetros de percepción de los participantes en relación con el ejercicio realizado, como la sensación térmica y la sensación de comodidad. **Resultados.** Los participantes alcanzaron en ambos tipos de prueba un consumo máximo de oxígeno y más del 90% de la frecuencia cardíaca máxima esperada en función de la edad. La frecuen-

cia cardíaca, la temperatura cutánea y las percepciones relativas al ejercicio, la comodidad y la sensación térmica fueron mayores durante la prueba de ejercicio sobre cinta sinfin, pero no presentaron diferencias significativas en los grupos EPI y PCC. La temperatura corporal central se incrementó en las condiciones PCC y EPI ($0,8 \pm 0,5$ y $0,7 \pm 0,3$; $p = 0,40$). **Conclusión.** El trabajo de intensidad alta con el EPI de nivel C se vio limitado básicamente por la capacidad cardiovascular. La carga térmica asociada a este tipo de episodios de trabajo con el EPI (aproximadamente, 10 min) no es diferente de la que tiene lugar con el trabajo de intensidad alta en pantalones cortos y en camiseta de algodón. Es necesario considerar el estado de la función cardiovascular al seleccionar a los profesionales que deben trabajar con un EPI resistente a ataques químicos, especialmente en las tareas que requieren un trabajo de intensidad alta. **Palabras clave:** profesionales primera respuesta; EPI; temperatura; rendimiento.

PREHOSPITAL EMERGENCY CARE. 2007;11:394-8

INTRODUCCIÓN

A medida que aumentan las posibilidades de actos terroristas, los profesionales de la asistencia prehospitalaria se han visto forzados a formarse y prepararse para hacer frente a estas circunstancias. Un elemento clave de la preparación es la formación en la utilización apropiada del equipo de protección individual (EPI), con los objetivos de facilitar el rescate y prevenir la contaminación del rescatador. Uno de los equipos más característicos utilizados por los profesionales de la asistencia prehospitalaria es el denominado EPI de nivel C. El EPI de nivel C incluye un mono con capucha impermeable frente a sustancias químicas, guantes, botas y un respirador para la purificación del aire. Este equipo se ha diseñado para la protección frente a muchos agentes químicos y biológicos, de manera que permite al profesional de la asistencia prehospitalaria la evaluación y la descontaminación de las víctimas en un contexto de seguridad. Por desgracia, se ha observado que —desde el punto de vista fisiológico— este equipo protector es exigente para la persona que lo utiliza debido a que le impone una carga térmica adicional que se acompaña de deshidratación, hipertermia y reducción del tiempo de trabajo^{1,2}.

La evacuación de las víctimas en el escenario de un incidente y la función de rescate del rescatador del equipo de intervención rápida exigen generalmente un trabajo

Recibido el 9 de marzo de 2007, de la University of Pittsburgh, Department of Emergency Medicine, Emergency Responder Human Performance Lab (WEN, JS, FLG, DH); y de la University of Pittsburgh, Department of Health and Physical Activity (FLG, CR, MG). Revisión recibida el 28 de mayo de 2007; aceptada para publicación el 30 de mayo de 2007.

Este estudio ha sido financiado por una ayuda de la Pittsburgh Emergency Medicine Foundation y fue presentado en la reunión anual de 2006 de la Society for Academic Emergency Medicine, celebrada en San Francisco, CA.

Dirección para correspondencia y solicitud de separatas: Dave Hostler, PhD, CSCS, Emergency Responder Human Performance Lab, University of Pittsburgh, Department of Emergency Medicine, 230 McKee Place, Suite 400, Pittsburgh PA, 15213. Correo electrónico: <hostlerdp@upmc.edu>.

de intensidad elevada que solamente se puede mantener durante intervalos breves de tiempo³. De la misma manera, la autoevacuación rápida en un escenario que se deteriora progresivamente también requiere posiblemente la realización de un ejercicio de gran intensidad. Se desconoce la carga fisiológica adicional impuesta por el EPI de nivel C durante el trabajo de intensidad elevada. En el estudio presente se han evaluado las respuestas térmica, cardiovascular y perceptual de los profesionales de los servicios de emergencias médicas (SEM) que utilizan un EPI de nivel C durante la realización de un ejercicio sobre una cinta sinfín con incremento gradual de la inclinación. Nuestra hipótesis ha sido que la carga térmica sobreañadida resultante del trabajo realizado con uso del EPI reduce el tiempo de trabajo e incrementa la temperatura corporal central.

MÉTODOS

Este estudio de laboratorio efectuado con un diseño prospectivo y transversal fue aprobado por el Comité de revisión institucional de la University of Pittsburgh.

Diseño del estudio y participantes

A través de programas educativos de seguridad pública y para profesionales de la emergencia prehospitalaria se estableció contacto con un grupo de profesionales de la asistencia prehospitalaria ($n = 8$) con entrenamiento previo en el uso apropiado del EPI de nivel C y de los que se espera que utilicen este equipo como parte de su trabajo.

Tras el otorgamiento del consentimiento informado por escrito, un médico evaluó a los participantes a través de una historia clínica y una exploración física detalladas, con determinación de los signos vitales en reposo y mediante la realización de un electrocardiograma de 12 derivaciones. Los participantes tenían un buen estado de salud, tenían más de 18 años de edad y no presentaban ninguna enfermedad cardiovascular, metabólica o respiratoria. A las participantes se les solicitó la realización de una prueba de embarazo en orina antes de la aplicación del protocolo, y las que dieron positivo fueron excluidas. Tras la evaluación, los participantes realizaron 2 protocolos de ejercicio efectuados de manera alternada y separados por un período de al menos 48 h. En la sesión PCC, los participantes realizaron ejercicio hasta el nivel de fatiga sobre una cinta sinfín movida por un motor mientras llevaban puestos pantalones cortos, una camiseta de algodón y zapatillas deportivas. En la sesión EPI, los participantes utilizaron un mono resistente a productos químicos (Dupont Tychem CPF2), un respirador para la purificación del aire (MSA Millennium) y guantes de butil sobre guantes de látex. Los pies integrales del mono fueron eliminados para permitir que los participantes utilizaran zapatillas deportivas convencionales, y del respirador

se retiró el diafragma de habla para conseguir espacio para la válvula respiratoria y la boquilla necesaria para el análisis metabólico. No se introdujeron otras modificaciones en el equipo EPI y todas las costuras, zonas de cierre, y mangas y perneras se protegieron mediante una gruesa cinta adhesiva, según el método local.

Protocolo de evaluación

A los participantes se les pidió que evitaran la cafeína, el tabaco y la realización de ejercicio desde 12 h antes de la prueba, pero no se introdujo ningún control de su nutrición o hidratación. El porcentaje del tejido adiposo corporal se determinó mediante el análisis de 3 pliegues cutáneos antes de la aplicación del protocolo⁴. La masa corporal se determinó antes y después de la aplicación del protocolo, mediante una escala Detect-Medic. Durante esta medición, los participantes llevaban puesto únicamente pantalones cortos (los varones) o pantalones cortos y un sujetador deportivo (las mujeres).

Los participantes realizaron una prueba de Bruce sobre cinta sinfín. En este protocolo, el sujeto comienza a caminar a una velocidad de 2,74 km/h hasta un grado de inclinación del 10%. Después, el grado de inclinación de la cinta y la velocidad se incrementan cada 3 min hasta que el individuo alcanza una situación de fatiga por voluntad propia. Durante la prueba, un espirometro con circuito abierto (Parvomedics Inc., Utah) calculó en cada momento el VO_2 , el VCO_2 y el cociente de intercambio respiratorio (un indicador de la proporción del metabolismo de los lípidos y la glucosa). Los analizadores electrónicos se calibraron antes de cada prueba de ejercicio mediante el uso de gases de referencia estándar. La frecuencia cardíaca, la temperatura corporal central y la temperatura cutánea (tórax, espalda, tríceps y parte anterior del muslo) se determinaron cada minuto durante el ejercicio y durante los 5 min posteriores a éste. Los participantes descansaron en posición de sentado durante 5 min tras la realización de cada protocolo, inmediatamente después del ejercicio, con objeto de simular un período de descontaminación mientras todavía seguían utilizando el EPI.

Parámetros fisiológicos

La frecuencia cardíaca se determinó mediante un monitor de frecuencia cardíaca Polar (Polar Electro Oy, Finlandia). La temperatura corporal central se determinó mediante el uso de un comprimido indigerible y un receptor de radio (HQ Inc., Florida); este dispositivo ofrece una medición de la temperatura corporal central que es intermedia entre las existentes en el recto y el esófago⁵. La temperatura cutánea se calculó mediante termistores de superficie colocados sobre el vientre clavicular del músculo pectoral mayor, sobre el músculo supraespinoso y sobre la parte media de los músculos tríceps braquial y cuádriceps femoral (Physitemp, New

TABLA 1. Características demográficas y morfométricas de los participantes

Participante	Edad (años)	Sexo	Masa corporal (kg)	Masa corporal grasa (%)	VO _{2máx} (ml/kg/min)
1	21	Masculino	63,1	18,3	42,50
2	29	Femenino	54,7	11,7	47,80
3	20	Femenino	48,4	13,4	48,50
4	29	Femenino	69,7	27,5	33,40
5	29	Masculino	109,7	19,8	47,00
6	26	Masculino	107,7	24,6	38,20
7	23	Masculino	94,2	22,4	35,70
8	28	Masculino	84,7	22,1	52,50

Datos correspondientes a la media \pm desviación estándar.

Jersey). La temperatura cutánea media (T_{CM}) se calculó mediante la fórmula:

$$T_{CM} = \text{tórax (0,25)} + \text{espalda (0,25)} + \text{muslo (0,3)} + \text{brazo (0,2)}.$$

Parámetros perceptuales

A los participantes se les pidió que indicaran su impresión subjetiva del ejercicio y de la sobrecarga térmica al final de cada fase de 3 min y cada minuto durante los 5 min posteriores a la finalización del ejercicio, con uso de escalas previamente validadas. La valoración del ejercicio percibido se llevó a cabo con uso de la escala OMNI RPE, en la que las percepciones van desde 0 («extremadamente suave») hasta 10 («extremadamente duro»)⁶. La sobrecarga térmica se evaluó mediante una escala de sensación de comodidad con puntuaciones entre 1 («muy cómodo») y 4 («muy incómodo»); la escala de sensación térmica de Gagge con puntuaciones entre 1 («muy cómodo») y 5 («mucho calor»)⁸, y una escala de sensación de sudoración con puntuaciones entre 0 («nada en absoluto») y 3 («sudoración profusa»).

Análisis de los datos

Los datos se obtuvieron manualmente y posteriormente se introdujeron en una hoja de cálculo informatizada para su análisis. Los datos primarios se compararon mediante una prueba t para datos apareados y se

TABLA 2. Respuestas fisiológicas frente al ejercicio de intensidad elevada con uso del equipo de protección individual (EPI)

	Control	EPI	p
Tiempo hasta el agotamiento (s)	601,4 \pm 103,7	547,8 \pm 96,4	0,16
Modificación de la masa corporal (kg)	-0,67 \pm 0,59	-0,57 \pm 0,49	0,70
Porcentaje de la FCMEE	96,2 \pm 0,03	95,6 \pm 0,06	0,69
VO _{2máx} (ml/kg/min)	44,1 \pm 7,2	43,0 \pm 6,9	0,55
Cociente de intercambio respiratorio	1,12 \pm 0,08	1,10 \pm 0,06	0,56

FCMEE = frecuencia cardíaca máxima esperada según la edad.

Datos correspondientes a la media \pm desviación estándar.

TABLA 3. Datos de la temperatura cutánea y de la temperatura corporal central en 4 localizaciones

	Máximo (°C)		Cambio (°C)		p
	Control	EPI	Control	EPI	
Central	37,9 \pm 0,3	38,0 \pm 0,3	0,8 \pm 0,5	0,7 \pm 0,3	0,40
T _{CM}	32,4 \pm 0,6	33,8 \pm 1,3	0,9 \pm 0,6	0,9 \pm 0,5	0,80
Tórax	34,7 \pm 1,6	35,0 \pm 1,5	1,2 \pm 1,0	0,9 \pm 1,0	0,57
Espalda	34,5 \pm 1,5	35,1 \pm 1,2	1,1 \pm 0,8	1,5 \pm 1,4	0,27
Tríceps braquial	32,5 \pm 1,6	33,8 \pm 2,0	1,5 \pm 1,1	2,8 \pm 1,4	0,07
Parte anterior del muslo	33,6 \pm 1,1	34,5 \pm 1,5	2,1 \pm 1,1	2,0 \pm 1,0	0,83

Valores de p mostrados para el cambio de temperaturas.

EPI: equipo de protección individual; T_{CM}: temperatura cutánea media.

estableció significación para un valor de $p \leq 0,05$; la frecuencia cardíaca y los parámetros perceptuales se compararon a largo del tiempo mediante una prueba ANOVA para datos repetidos y mediante una prueba de Friedman para datos múltiples relacionados, respectivamente. Las comparaciones apareadas relativas a los parámetros perceptuales correspondientes a cada nivel de carga de trabajo se realizaron mediante una prueba de Mann-Whitney con corrección de Bonferroni para las comparaciones múltiples. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el programa informático SPSS v11.0 (SPSS Inc., Illinois).

RESULTADOS

Ocho participantes ofrecieron su consentimiento informado por escrito y realizaron todos los procedimientos (tabla 1). La experiencia promedio de los participantes en el SEM era de 5,0 (rango, 1-13) años. A pesar de que todos ellos habían recibido el entrenamiento apropiado para ponerse y quitarse el EPI de nivel C, solamente 3 habían recibido previamente una formación formal en materiales peligrosos y 2 tenían formación de bomberos.

Rendimiento durante la prueba

No se observaron diferencias en el tiempo transcurrido hasta el nivel de agotamiento entre las condiciones control y las condiciones EPI. Todos los participantes

TABLA 4. Valor final (media \pm DE) de las valoraciones del ejercicio percibido, la sensación térmica, la sensación de comodidad y la sensación de sudoración

	Control	EPI	p
OMNI RPE (1-10)	8,0 \pm 1,5	8,3 \pm 1,4	<0,001
Prueba de la sensación térmica de Gagge (1-5)	3,6 \pm 0,7	4,3 \pm 0,7	0,03
Sensación de comodidad (1-5)	2,6 \pm 0,7	3,0 \pm 0,5	0,04
Sensación de sudoración (0-3)	1,8 \pm 0,5	1,9 \pm 0,8	0,04

EPI: equipo de protección individual.

El rango de los valores posibles se indica entre paréntesis. El valor p indica el resultado de la prueba a lo largo del tiempo. Ninguna de las comparaciones de datos emparejados para una carga de trabajo dada presentó diferencias entre las condiciones control y EPI.

presentaron un cociente de intercambio respiratorio superior a 1,0 durante la última fase del ejercicio y solamente 1 de ellos fue incapaz de superar el 90% de la frecuencia cardíaca máxima esperada según la edad (tabla 2). El tiempo transcurrido hasta el agotamiento fue de $10,01 \pm 1,43$ s en las condiciones control y de $9,08 \pm 1,36$ s en las condiciones EPI ($p = 0,16$). Los participantes perdieron $0,67 \pm 0,59$ kg de masa corporal en la situación control y $0,57 \pm 0,49$ kg de masa corporal en la condición EPI ($p = 0,71$).

Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca aumentó con el paso del tiempo ($p < 0,001$) pero no presentó diferencias entre las condiciones control y las condiciones EPI ($p = 0,927$). El porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima esperada según la edad alcanzado al final del ejercicio no presentó diferencias entre los 2 tipos de condiciones evaluadas (tabla 2).

Temperatura

La temperatura corporal central y la temperatura cutánea aumentaron a lo largo del ejercicio. Sin embargo, ni la temperatura corporal central máxima ni la modificación de ésta presentaron diferencias entre las condiciones control y EPI (tabla 3). No obstante, en ambas condiciones, más de la mitad del incremento de la temperatura corporal central tuvo lugar durante el período de 5 min posterior al ejercicio. El incremento de la temperatura cutánea (la TCM y las temperaturas en las localizaciones individuales) no presentó diferencias entre ambas condiciones.

Parámetros perceptuales

Con el transcurso del tiempo se observó un incremento en las puntuaciones OMNI RPE, de comodidad, de sensación de sudoración y de sensación térmica (tabla 4). Sin embargo, las valoraciones perceptuales no fueron diferentes entre las condiciones control y EPI. Al final del ejercicio, las puntuaciones en las escalas OMNI RPE (fig. 1) y de sensación térmica casi alcanzaron los valores máximos. La sensación de comodidad y la sensación de sudoración casi alcanzaron el punto medio del rango de valores.

DISCUSIÓN

En nuestro estudio no se han identificado las supuestas diferencias en la temperatura corporal o en el tiempo de ejercicio, al comparar la realización de ejercicio sobre una cinta sinfín en condiciones control con la realización del mismo ejercicio con uso de un EPI de nivel C. No se ha cumplido nuestra hipótesis de un incremento de la temperatura corporal central y de una disminución del

tiempo de trabajo, lo que indica que el ejercicio gradualmente progresivo sobre una cinta sinfín realizado con uso del equipo de protección individual está limitado principalmente por la capacidad cardiorrespiratoria. Estos resultados son distintos de los obtenidos en estudios en los que se han evaluado períodos mayores de trabajo de intensidad baja con uso del EPI⁹⁻¹¹. A pesar de que la utilización del EPI de nivel C no dio lugar a una carga térmica adicional en nuestro grupo de participantes, es interesante el hecho de que más de la mitad del incremento de la temperatura corporal central tuvo lugar durante el período de 5 min posterior a la finalización del ejercicio. Este resultado es similar al obtenido en estudios acerca del trabajo realizado por bomberos con uso de ropa protectora, en los que la temperatura corporal central se incrementó tras la finalización del ejercicio⁹. Este dato tiene implicaciones importantes debido a que se han comercializado diversos dispositivos para controlar las características vitales de los profesionales de primera respuesta. Los termistores ingeribles se están utilizando con una frecuencia cada vez mayor por parte de deportistas universitarios y profesionales, y también se podrían usar para controlar la temperatura corporal central en los profesionales de primera respuesta. En el servicio de bomberos son más habituales los dispositivos acoplados a los aparatos de respiración autónomos, cuyo objetivo es el de determinar el calor en el entorno. Estos dispositivos se pueden correlacionar con una temperatura corporal central esperada, de manera que se activa una alarma cuando se supera un cierto umbral. Si se utiliza cualquiera de estos métodos para la monitorización de los profesionales de la seguridad pública, es necesario considerar el incremento adicional de la temperatura corporal central tras la interrupción del trabajo y la exposición, de manera que el profesional de rescate tenga el tiempo suficiente para poder salir con seguridad del escenario e iniciar la aplicación de medidas de enfriamiento y rehidratación. Es probable que el esfuerzo realizado durante una prueba sobre cinta sinfín con inclinación diera lugar a una sobrecarga del sistema cardiovascular antes de que el EPI pudiera influir significativamente en la termorregulación. En un estudio efectuado en personas que realizaron ejercicio sobre una cinta sinfín hasta un 65% del VO_{2max} con uso de un EPI militar específico de protección frente a ataques nucleares, biológicos y químicos, no se observó un incremento apreciable de la temperatura corporal central durante los primeros 10 min de un protocolo de 1 h de duración¹². Este resultado se puede comparar con los resultados obtenidos en estudios realizados sin uso del EPI en los que se ha evaluado el rendimiento del *sprint*, en los que la temperatura corporal central aumentó menos de 1 °C en personas con hidratación normal y con deshidratación que realizaron carreras de 50, 200 y 400 m¹³.

En la bibliografía se han publicado estudios en los que se ha evaluado el impacto del EPI con resistencia a productos químicos sobre el rendimiento de los profe-

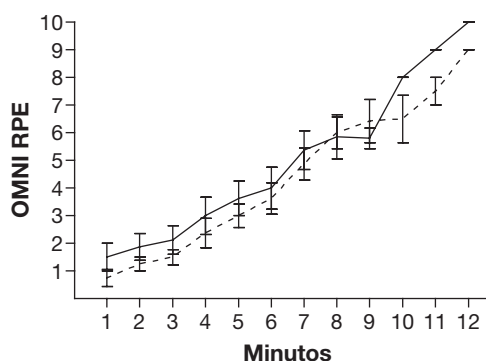


FIGURA 1. Gráfica del resultado de la escala OMNI RPE a lo largo del tiempo en las condiciones control (línea de guiones) y EPI (equipo de protección individual) (línea continua), durante el ejercicio. Los valores se modifican a lo largo del tiempo ($p < 0,001$), pero en ninguno de los momentos de determinación se observaron diferencias entre ambas condiciones.

sionales de los SEM^{14,15}. Sin embargo, no hemos podido identificar ningún estudio en el que se hayan analizado las respuestas fisiológicas de los profesionales de la asistencia prehospitalaria que trabajan con un EPI de nivel C. Se han dedicado esfuerzos considerables al estudio de las respuestas de los bomberos y los soldados que trabajan con un EPI resistente a productos químicos en diversas condiciones ambientales. En uno de estos estudios, realizado con personas que efectuaron un ejercicio ligero o intenso sobre una cinta sinfín con uso de un EPI resistente a ataques nucleares, biológicos y químicos (NBC, *nuclear, biological, and chemical*), se observaron frecuencias cardíacas mayores, tiempos de tolerancia menores y temperaturas corporales centrales más elevadas en las condiciones de trabajo intenso². No obstante, la condición de trabajo intenso en este estudio presentó un tiempo de tolerancia que se aproximó a los 60 min, lo que difiere considerablemente del protocolo de ejercicio sobre una superficie inclinada aplicado en nuestro estudio.

El ejercicio de gran intensidad es una situación infrecuente en los incidentes en los que participan los profesionales de la asistencia prehospitalaria y en los que están implicados materiales peligrosos. No obstante, el nivel de esfuerzo físico asociado a las pruebas de esfuerzo sobre cinta sinfín utilizadas en nuestro estudio puede ser necesario para que los profesionales de rescate puedan evacuar a las víctimas localizadas en un entorno peligroso. En un estudio efectuado con bomberos que realizaron simulaciones de rescate de víctimas se observó que el arrastre de 6 víctimas consecutivas hasta una zona de seguridad requirió casi 7 min en total. Para poder completar las tareas, los participantes trabajaron con un VO_2 de casi 4 l/min y con un 96% de su frecuencia cardíaca máxima³. Se pueden observar niveles similares de esfuerzo en las situaciones en las que es necesario el arrastre de víctimas en incidentes con materiales peligrosos o con armas de destrucción masiva, o en las que es necesaria la participación de un equipo de intervención rápida (EIR) en situaciones en las que los rescatadores

permanecen listos con sus EPI para introducirse en un área contaminada y sustituir al equipo que se introdujo inicialmente, en los casos en los que algún miembro de este primer equipo ha tenido problemas.

La similitud en las valoraciones del ejercicio percibido detectadas en nuestro estudio entre las condiciones EPI y control no fue un resultado inesperado. Las valoraciones del ejercicio percibido (VEP) están fuertemente relacionadas con la tasa metabólica relativa (es decir, con el porcentaje del $\text{VO}_{2\text{máx}}$). Por tanto, cualquier carga de trabajo submáxima realizada sobre una cinta sinfín en condiciones EPI o control se correspondió con una carga relativa y una VEP similares. La temperatura corporal central también está influida por la tasa metabólica relativa. Por tanto, las tasas metabólicas relativas durante las condiciones EPI y control fueron congruentes con los tiempos de ejercicio comparativamente cortos que dieron lugar a respuestas de temperatura corporal central similares. Son necesarios nuevos estudios de investigación para evaluar las respuestas de termorregulación durante la actividad prolongada con uso del EPI, que —debido a la ausencia de un enfriamiento por evaporación— da lugar a una aceleración importante en la acumulación de calor.

Se ha demostrado que la sensación térmica está muy relacionada con la temperatura cutánea. La similitud de las temperaturas cutáneas observada en nuestro estudio en las condiciones EPI y control hizo que los participantes presentaran sensaciones térmicas similares. Las neuronas con sensibilidad a la temperatura que hay en la piel pueden enviar impulsos hacia el sistema nervioso central, no solamente al hipotálamo sino también a la corteza sensitiva, en donde estas señales pueden contribuir a una sensación térmica global. Por tanto, la similitud de las sensaciones térmicas observada en nuestro estudio entre las condiciones EPI y control se puede haber debido, en parte, a una estimulación sensitiva comparable durante las 2 condiciones experimentales.

LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Nuestro grupo ha utilizado el protocolo de Bruce sobre cinta sinfín para evaluar las respuestas cardiovascular, termorreguladora y perceptual durante el ejercicio de intensidad alta realizado por personas que utilizaron un EPI de nivel C. Esta prueba de esfuerzo sobre una superficie inclinada requiere un esfuerzo cada vez mayor a medida que transcurre cada fase de ésta, y su objetivo es el de conseguir que el individuo alcance el nivel de fatiga en un tiempo bastante corto (generalmente, menos de 20 min). A pesar de que los profesionales de los SEM que trabajan con un EPI de nivel C en la evacuación de las víctimas en el escenario de un incidente, o bien que deben salir por sus medios de un escenario en fase de degradación, podrían estar trabajando con una proporción significativa de su capacidad máxima, es poco probable que el nivel de intensidad de la opera-

ción se vaya a incrementar de manera sostenida, como fue la simulación con nuestro protocolo.

Hay que tener en cuenta que en nuestro estudio se efectuaron 3 modificaciones en el EPI de nivel C. Por motivos de seguridad de los participantes, no se utilizaron botas de butil y se eliminaron los pies del mono utilizado; además, la pierna del mono se rodeó circunferencialmente con cinta adhesiva hasta el tobillo, de manera que todos los participantes pudieron utilizar zapatillas deportivas durante la realización de la prueba sobre la cinta sinfín. Para la obtención de los datos continuados relativos al consumo de oxígeno, se eliminó el recipiente de filtración de los respiradores, con el objetivo de que tanto la válvula del respirador como la boquilla se pudieran introducir en la mascarilla, formando así un sistema cerrado. A medida que los recipientes de filtración quedan saturados por la humedad atmosférica, el incremento de la resistencia aumenta el trabajo respiratorio total^{16,17}. El trabajo respiratorio adicional a través de un filtro podría haber limitado adicionalmente el rendimiento cardiovascular, de manera que la eliminación de esta resistencia en el modelo pudo incrementar teóricamente el tiempo de trabajo en las condiciones EPI.

Se ha sugerido que los profesionales de los SEM pueden presentar un nivel físico inferior al de otros profesionales de la seguridad pública¹⁸. En nuestro grupo se observó una gama amplia de valores de la capacidad respiratoria. Cuatro participantes quedaron por debajo del percentil 50, mientras que los otros 4 mostraron una capacidad aerobia que superó el $VO_{2\text{máx}}$ recomendado para las operaciones del servicio de bomberos^{19,20}. Se ha observado que los profesionales de la asistencia prehospitalaria trabajan con un porcentaje desproporcionadamente elevado de su capacidad aerobia cuando realizan actividades de rescate, lo que puede obligar a una nueva consideración del estado físico para el desempeño de la tarea, de los dispositivos tecnológicos de ayuda para el rescate y de los procedimientos operativos que limitan la exposición de las personas que no tienen un estado físico adecuado.

Son necesarios nuevos estudios para documentar el gasto energético absoluto de los profesionales de la asistencia prehospitalaria que utilizan monos resistentes a productos químicos y que actúan en la extracción de las víctimas o de los rescatadores lesionados en los escenarios de incidentes. Si fuera posible determinar este valor, se podría utilizar como un parámetro estándar para determinar si un individuo está capacitado para realizar estas tareas.

CONCLUSIONES

El trabajo de intensidad elevada con uso de un EPI de nivel C está limitado principalmente por la capacidad cardiovascular. La carga térmica que conlleva este episodio breve de trabajo con el EPI (aproximadamente, 10 min) no es diferente de la que tiene lugar cuando

los participantes utilizan pantalones cortos y una camiseta de algodón. Es necesaria la consideración del ajuste cardiorrespiratorio a la hora de asignar el trabajo con uso de un EPI resistente a productos químicos, especialmente en las tareas que requieren un trabajo de gran intensidad.

Bibliografía

- Cheung SS, McLellan TM. Influence of hydration status and fluid replacement on heat tolerance while wearing NBC protective clothing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;77(1-2):139-48.
- McLellan TM, Cheung SS. Impact of fluid replacement on heat storage while wearing protective clothing. *Ergonomics*. 2000;43(12):2020-30.
- Von Heimburg ED, Rasmussen AK, Medbo JI. Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. *Ergonomics*. 2006;49(2):111-26.
- Jackson AS, Pollock ML. Prediction accuracy of body density, lean body weight, and total body volume equations. *Med Sci Sports*. 1977;9(4):197-201.
- O'Brien C, Hoyt RW, Buller MJ, Castellami JW, Young AJ. Telemetry pill measurement of core temperature in humans during active heating and cooling. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(3):468-72.
- Utter AC, Robertson RJ, Green JM, Suminski RR, McAnulty SR, Nieman DC. Validation of the Adult OMNI Scale of perceived exertion for walking/running exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(10):1776-80.
- Vokac Z, Kopke V, Keul P. Physiological responses and thermal, humidity & comfort sensations in wear trials with cotton & polypropylene vests. *Textile Res. J* 1976;46:30-8.
- Gagge AP, Stolwijk JA, Saltin B. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperatures. *Environ Res*. 1969;2(3):209-29.
- McLellan TM, Selkirk GA. Heat stress while wearing long pants or shorts under firefighting protective clothing. *Ergonomics*. 2004;47(1):75-90.
- Constable SH, Bishop PA, Nunneley SA, Chen T. Intermittent microclimate cooling during rest increases work capacity and reduces heat stress. *Ergonomics*. 1994;37(2):277-85.
- McLellan TM, Cheung SS, Latzka WA, Sawka MN, Pandolf KB, Millard CE, Withey WR. Effects of dehydration, hypohydration, and hyperhydration on tolerance during uncompensable heat stress. *Can J Appl Physiol*. 1999;24(4):349-61.
- Cheung SS, McLellan TM. Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *J Appl Physiol*. 1998;84(5):1731-9.
- Watson G, Judelson DA, Armstrong LE, Yeargin SW, Casa DJ, Maresh CM. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive sprint and power performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(7):1168-74.
- Grugle NL, Kleiner BM. Effects of chemical protective equipment on team process performance in small unit rescue operations. *Appl Ergon*. 2006;doi:10.1016/j.apergo.2006.08.003.
- MacDonald RD, LeBlanc V, McArthur B, Dubrowski A. Performance of resuscitation skills by paramedic personnel in chemical protective suits. *Prehosp Emerg Care*. 2006;10(2):254-9.
- Caretti DM, Coyne K, Johnson A, Scott W, Koh F. Performance when breathing through different respirator inhalation and exhalation resistances during hard work. *J Occup Environ Hyg*. 2006;3(4):214-24.
- Caretti DM, Scott W, Johnson A, Coyne K, Koh F. Work performance when breathing through different respirator exhalation resistances. *AIHAJ*. 2001;62(4):411-5.
- Crill MT, Hostler D. Back strength and flexibility of EMS providers in practicing prehospital providers. *J Occup Rehabil*. 2005;15(2):105-11.
- American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Baltimore, LippincottWilliams & Wilkins; 2000.
- Gledhill N, Jamnik VK. Characterization of the physical demands of firefighting. *Can J Sport Sci*. 1992;17(3):207-13.