

TRABAJO FIN DE GRADO:

ANÁLISIS DE

FÁTIGA EN BOMBEROS



Jesús Abad García

Tutor: Ricardo Ros

4º de CCAFD

Facultad CC. Salud y Deporte

Huesca, 19 de junio de 2014

ÍNDICE

Resumen.....	Página 2
Abstract.....	Página 2
Introducción.....	Página 2
Material y métodos.....	Página 8
Resultados.....	Página 10
Discusión.....	Página 14
Conclusiones.....	Página 18
Conclusions.....	Página 18
Referencias bibliográficas.....	Página 19

RESUMEN

En algunos estudios realizados en el colectivo de bomberos, se han observado niveles de lactato en sangre de $6.1 \pm 1.8 \text{ mmol l}^{-1}$, y en algunas ocasiones, picos de $13 \pm 3 \text{ mmol/l}$. Estos niveles indican el elevado riesgo que aparece en estos trabajadores y nos indica que deberemos profundizar más en el estudio de la fatiga del trabajo de los bomberos para prevenir estas situaciones de estrés. En este estudio, realizado como Trabajo Fin de Grado de CCAFD y en colaboración con el Servicio Provincial de Extinción de Incendios (SPEI) de la Diputación Provincial de Zaragoza, se ha analizado la variación del lactato en 22 bomberos al finalizar dos ejercicios de simulacro: uno en campo abierto y otro en edificio cerrado. Se ha apreciado un incremento significativo en los dos ejercicios, encontrando datos similares a los deportistas de élite. Las diferencias de los valores registrados guardan relación con la edad y la experiencia de los participantes.

ABSTRACT

Blood lactate levels of $6.1 \pm 1.8 \text{ mmol l}^{-1}$, with peaks of $13 \pm 3 \text{ mmol / l}$, have been observed in some researchs on firefighters. These levels show a high risk taken by these workers. Researching on fireman fatigue may be increase to prevent these stressful situations. The variation of lactate by 22 firefighters of the Provincial Service Firefighting of Zaragoza has been analyzed in this study at the end of two simulation exercises: outside and indoor exercise. It has appeared a significant increase in the two exercises values, similar than elite athletes. The differences of the values recorded are related to the age and experience on that post.

INTRODUCCIÓN

Es sabido por la comunidad científica y, en la actualidad, por toda la población que el ejercicio físico regulado y controlado es beneficioso para la salud. Sin embargo, el concepto regulado y controlado es un límite no bien comprendido por deportistas esporádicos o trabajadores que realizan esfuerzos físicos importantes. Por otra parte, también es conocido que sobrepasar los límites fisiológicos de la capacidad de esfuerzo conduce a una situación de fatiga con algunos efectos perjudiciales que van desde la incapacidad de seguir haciendo el esfuerzo hasta problemas graves cardíacos con riesgo de muerte súbita, algo que aparece en sujetos que realizan una actividad física a

diferentes niveles y que desgraciadamente aparece como noticia de prensa cuando afecta a un deportista.

En los últimos años se han propuesto diferentes programas de ejercicio físico, principalmente para la mayoría de población considerada no atleta, pero que procura realizar actividad física de forma regular, agradable y sin fines competitivos. Como dice Haskell, la actividad física regular bien planificada está asociada a una mejor salud y calidad de vida. Además el entrenamiento físico es propuesto como un método terapéutico no farmacológico para mantener y prevenir dolencias y problemas cardiovasculares. El entrenamiento aeróbico no debe verse apenas en la preparación de atletas de alto rendimiento (profesional o semiprofesional) y aunque sus entrenamientos se hayan convertido en ejemplos para atletas aficionados y para los no atletas, sus programas de formación precisan que no sean copiados por completo. Los atletas se centran en las competiciones y desempeños máximos, pudiendo exceder los estímulos de entrenamiento, teniendo como consecuencia lesiones músculo esquelético perjudicial para la salud. Existe la necesidad de aplicar metodologías a aquellas personas que quieren mejorar su condición física para su trabajo y salud, y las recomendaciones incluyen una dinámica de entrenamiento que engloba la manipulación de la carga a través de las siguientes variables: intensidad, duración, frecuencia de estímulo y tipo de ejercicio. Sin embargo, a pesar de la discusión sobre el ejercicio, de la relación entre salud y ejercicio, no se sugiere la aplicación de cargas aeróbicas en personas saludables, no atletas. Se han llevado a cabo observaciones empíricas sobre cómo plantear y controlar las sesiones de entrenamiento para poder identificar que métodos emplear para aumentar la carga durante varias semanas, de manera escalonada o progresiva, o de manera ondulada, es decir, en ondas crecientes. Estos son métodos más eficientes que los lineales (aumento continuo hasta el máximo y mantener) o continuos (siempre la misma carga). Dividir el entrenamiento en periodos supone la subdivisión del programa estacional en periodos menores y ciclos de entrenamiento. Según la teoría tradicional de periodizar el entrenamiento, se incluye, un tiempo general de carga y de recuperación teniendo en cuenta la supercompensación. Así, una progresión gradual, como la sugerida por el American College of Sports Medicine (ACSM), no garantiza que ocurran fases de estímulo y recuperación en microciclos (semanas), porque puede ser tomada de forma lineal, solo con un aumento de la intensidad, o permaneciendo con la misma intensidad y/o mismo volumen. Esta preocupación se debe a que,

frecuentemente, los programas de actividad física regular son iniciados sin una adecuada dosis de estímulos aeróbicos, sin respetar el principio de la progresión en las sobrecargas ni las propias características del sujeto. Esto puede llevar rápidamente a un estado de sobreentrenamiento, es decir, una fatiga lejos de su programa de formación profesional. Hasta el momento, apenas ha sido encontrado un trabajo, en el que se consideró la distribución de las cargas semanales de entrenamiento en rendimiento aeróbico de sujetos no atletas. En otro trabajo (Pérez, 2013), la hipótesis era que los programas regulares de actividad física aeróbica podían mostrar ventajas en sus resultados con una organización de cargas ondulatoria o creciente, en lugar de lineal o continua, potenciando los beneficios relacionados con la salud. Así, el objetivo era estudiar las respuestas fisiológicas en hombres saludables, sometidos a un programa de entrenamiento predominantemente aeróbico, con diferentes distribuciones y aumentos de intensidad, analizando y comparando los efectos de los periodos en relación con los parámetros relacionados a la salud: composición corporal, frecuencia cardiaca, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica, en reposo, esfuerzo y recuperación, VO₂máx. y nivel submáximo y máximo.

La bibliografía científica permite afirmar que el colectivo de bomberos incrementa su riesgo de muerte súbita durante la actividad de extinción de incendios (Perroni et al, 2010). El estrés físico al que están sometidos los bomberos aumenta el riesgo de que padezcan lesiones músculo-esqueléticas y complicaciones cardíacas. Un gran número de lesiones y muertes relacionadas con la profesión de los bomberos cada año ha llevado a la Agencia Nacional de Protección del Fuego, a la Asociación, a la Asociación Internacional de bomberos y a la Asociación Internacional de Jefes de Bomberos a considerar y sugerir unas recomendaciones de entrenamiento físico para la salud de los bomberos. Es de esperar, que altos niveles de aptitud física ayudarán a los bomberos a realizar las tareas propias de la profesión con menor tendencia a la lesión, como: tirar de la manguera de fuego, llevar equipos de arriba abajo, subir y bajar escaleras, entrar por la fuerza o por los conductos de ventilación, llevar a las víctimas a un lugar seguro... Sin embargo, hay pocas investigaciones que hayan sido publicadas que examinen la relación entre medidas adoptadas para el acondicionamiento físico y el desempeño laboral de esta población.

En algunos trabajos se ha descrito que tras una prueba de simulación de extinción de incendio, los bomberos alcanzan: frecuencia cardíaca máxima de 170 ± 10 lat / min (von Heimburg y Medbo, 2013), la temperatura central del cuerpo se incrementa entre $0,6^{\circ}\text{C}$ y 1°C (Rossi, 2003; Eglin, 2004) y el peso corporal disminuye en $0,6 \pm 0,2$ kg ($p < 0,001$), y los parámetros sanguíneos cambiados en consecuencia. En conclusión, se puede afirmar que la extinción de incendios causa un estrés cardiocirculatorio (Del Sal et col, 2009). Williford, Duey, Olson, Howard y Wang estudiaron la relación entre las tareas de supresión de incendios y la forma física de bomberos varones. Para comprobar la forma física de los bomberos, se analizó la composición corporal y se realizaron los siguientes tests: dominadas, flexiones de brazos, correr 1,5 millas, abdominales, fuerza con handgrip y flexibilidad de cadera. Davis, Dotson y Santa Maria examinaron la relación entre los riesgos de un incendio simulado y las variables de salud física, tales como la fuerza de agarre, abdominales, dominadas de bíceps, flexiones de brazos, salto de longitud a pies juntos, flexibilidad y la composición corporal. Anteriores investigaciones emplean una batería de pruebas que se centra principalmente en la resistencia cardiovascular y muscular, que proporcionan una evaluación muy acorde a las demandas físicas propias de la actividad realizada en el lugar de un incendio. El propósito de estas investigaciones era examinar la relación entre una amplia gama de tests de salud y las demandas específicas de la lucha contra el fuego en los incendios.



La fatiga es un factor difícil de evaluar -especialmente en su faceta psíquica-, que puede conducir a que, a pesar de que el sujeto puede continuar con la actividad, las decisiones y actos ejecutados en estas condiciones pueden ser erróneos (Barr, 2010),

hecho que en el caso de situaciones extremas -como es el caso del bombero-, el resultado puede conllevar una catástrofe. Una parte del fenómeno de la fatiga se debe a cambios dentro del sistema nervioso central, es to es la fatiga central. Se diferencia de la periférica, que implica una reducción de la habilidad de las fibras musculares para producir fuerza. Mientras que la fatiga periférica y la fatiga central están interrelacionadas, la fatiga central depende de los mecanismos supraespinales y espinales que no puede ser explicada únicamente por la disfunción dentro del propio músculo. La reducción en el poder del músculo de manera voluntaria resultante de la fatiga puede surgir por múltiples sistemas (metabólicos, cardiovasculares, humorales y neurológicos). Además la edad, el sexo, la salud, las condiciones del entorno también afectan, así como la motivación, la percepción del esfuerzo y otros factores psicofisiológicos. Hay cinco modelos fisiológicos de fatiga (Gibson y Lambert): cardiovascular o anaeróbico, suministro y agotamiento de energía, reclutamiento muscular, biomecánico, y psicológico y motivacional. Atendiendo a esta clasificación, la fatiga central corresponde más a la tercera categoría, reclutamiento muscular; teniendo mucha influencia la quinta categoría. Aunque parece imposible entender la fatiga faltando cualquiera una de las cinco categorías, pues en su conjunto componen el proceso de la fatiga. Por tanto, la fatiga puede definirse como la reducción de la habilidad para producir o mantener la fuerza o velocidad con uno o un grupo de músculos.

El modelo del gobernador central explica la fatiga considerando que la parte del cerebro subconsciente regula el esfuerzo realizado para mantener la homeostasis y prevenir fallos fisiológicos catastróficos; el subconsciente informa al consciente del incremento de dificultad para mantener la homeostasis a esa intensidad de ejercicio, y eso es interpretado por el cerebro consciente como fatiga. El modelo periférico defiende que hay muchos factores, además del ácido láctico, que protegen de la catástrofe. Otro modelo incluye aspectos centrales y periféricos, y el peso de uno u otro varía en función del tipo de ejercicio.

La fatiga depende de la intensidad, la frecuencia y la duración del ejercicio, así como de la edad, la genética, el tipo de fibras musculares, su historial de entrenamiento y otras influencias. Con el entrenamiento, la resistencia a la fuerza aumenta y la fatiga disminuye. En un estudio de diez semanas, se percibió que la resistencia a la fuerza no

aumentó hasta la quinta semana, mientras que la reducción de la fatiga se fue produciendo durante las cuatro primeras semanas (Jelena Popadic, 2013).

Una de las formas más habituales de conocer la situación de fatiga física de una persona es medir sus niveles de ácido láctico en sangre. En algunos estudios realizados en el colectivo de bomberos, se han observado niveles de lactato en sangre de 6.1 ± 1.8 mmol l⁻¹, y en algunas ocasiones, picos de 13 ± 3 mmol/l (Lemon y Hermiston, 1977; Smith, 1996; von Heimburg, 2006; Holmer y Gavhed, 2007). Estos niveles indican el elevado riesgo que aparece en estos trabajadores (Gledhill y Jamnik, 1992) y nos indica que deberemos profundizar más en el estudio de la fatiga del trabajo de bombero para prevenir estas situaciones de fatiga, que pueden ser tan peligrosas para la vida del trabajador y de todas las personas a las que ayuda durante sus acciones.



Las actividades que llevan a cabo los bomberos traen consigo una serie de dificultades que hacen que aparezca la fatiga. Los bomberos desarrollan un trabajo con gran componente muscular; deben subir escaleras, llevar y utilizar herramientas pesadas, a menudo trabajan en posiciones incómodas y se encargan de realizar operaciones de rescates de cierta complejidad. Los bomberos trabajan en entornos peligrosos, encontrándose con temperaturas muy elevadas, gases tóxicos y condiciones caóticas de ruido y poca visibilidad. Además, este trabajo se desarrolla urgentemente, lo que suma un factor psicológico de estrés, sabiendo que hay ciudadanos que están en peligro que dependen de lo que el bombero haga. Por si no fuera poco, los bomberos deben llevar ropa de protección para ellos mismos, que limita muchos movimientos. Las actividades que desempeñan los bomberos son agotadoras y hacen que se alcancen

frecuencias cardiacas cercanas a los límites máximos, durante largos periodos de tiempo (1'38''). El volumen sistólico disminuye con el cansancio de los bomberos. Luchar contra el fuego puede producir altos niveles de tensión arterial, lo que produce que anda más después de la actividad disminuyan por debajo de los niveles de reposo. Provoca también una gran sudoración, y por tanto una disminución del volumen de plasma (15% en 18mins). Se produce hipertermia y consiguiente viene la deshidratación, que son muy importantes en el cuerpo de bomberos, ya que multiplican la fatiga y limitan el tiempo de actuación.

Para cerrar el apartado de la introducción queda comentar que este Trabajo Fin de Grado lo he realizado con la colaboración del Grupo de Investigación DERSA y el Servicio Provincial de Extinción de Incendios (SPEI) de la Diputación Provincial de Zaragoza, para valorar la situación de fatiga a la que se someten los miembros del cuerpo de bomberos cuando realizan actividades habituales de sus jornadas de trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se ha contado con la participación de 22 bomberos, con edad media de 35,25 años. La experiencia de la muestra en el desarrollo de esta actividad es de 7,54 años. Se han realizado tres tomas de lactato con el LactatePro: una en situación de reposo y otras dos al finalizar sendos simulacros de actuación (escalera en torre y forestal). El Lactate Pro es un medidor de prueba de mano, alimentado por batería, con una pantalla de cristal líquido, un termo-sensor incorporado, y una entrada para la inserción de tiras de verificación, calibración y tiras reactivas. Las tiras de verificación se insertan antes de su uso para asegurar que el medidor de prueba funcione correctamente. El termo-sensor compensa automáticamente la temperatura y el medidor de prueba se puede calibrar de forma automática mediante la inserción de una tira de calibración. Las tiras de prueba química que analizan las concentraciones de lactato van de 0,8 a 23,3 mM; y requiere sólo de 5µL de sangre total, que puede ser analizado en 60 segundos.

Se han hecho diferentes estudios de lactato utilizando este aparato, pero también se ha comprobado su validez comparándolo con otros medidores de lactato, como el YSI 1500 o el YSI 2300 STAT Plus TM, en otras investigaciones. En la primera, la conclusión que sacaron fue que los resultados obtenidos por el Lactate Pro son de

confianza y tienen suficiente acuerdo y linealidad con los del medidor YSI 1500, por lo que es un medidor de confianza para ser usado en investigaciones deportivas y entrenamientos atléticos (Norris, 2004). En la segunda, comparando con el YSI 2300 STAT Plus TM, los resultados indican que el Lactate Pro demuestra un buen grado de acierto, consistencia, formalidad y validez en la aplicación práctica. Su poco peso, su pequeño tamaño, la pequeña muestra de sangre necesaria y la disponibilidad de los resultados en 60 segundos, hace de este aparato un excelente medidor, que es fácil de usar, en los ámbitos del deporte y el ejercicio, tanto en campo como en laboratorio (Mukherjee, 2006).

La primera prueba consiste en ascender por el interior de una torre de dos pisos extendiendo una manguera de 20 metros de longitud, enrollada inicialmente. La prueba se realiza vistiendo el equipo autónomo completo (botas, mono, guantes, casco, máscara y bombona), con un peso total de 14 kg. La ascensión debe realizarse a la máxima velocidad posible. Se puede contar con la ayuda de los compañeros únicamente en los casos en los que la manguera quede atascada en las escaleras o puertas. La duración de la prueba se estima en torno a los 2 minutos 40 segundos.



La segunda prueba consiste en cubrir una distancia de terreno forestal desenrollando tres tramos de manguera y volviendo a guardarlos individualmente mediante un pliegue en ocho. El equipo necesario es más ligero, contando únicamente con el mono y calzado cómodo para la carrera campo a través (botas de montaña o similares). La duración de la prueba se estima en torno a los 7 minutos.



RESULTADOS

Se ha analizado si existen diferencias significativas en los niveles de lactato en tres momentos diferentes y la correlación entre edad o experiencia con los niveles de lactato en los tres momentos. Se han calculado como resultados descriptivos media, mediana, desviación típica, varianza, máximo y mínimo de cada una de las variables. Para realizar la comparación se ha realizado en primer lugar la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad, por no ser todas las variables normales se han utilizado las pruebas de Friedman para analizar las diferencias entre los tres momentos, la prueba de Wilcoxon para determinar diferencias en los momentos dos a dos. La correlación se ha analizado con el coeficiente de correlación rho de Spearman. Se ha fijado un nivel $p=0,05$ para aceptar o rechazar las hipótesis nulas en la prueba de Friedman y en el análisis de correlaciones. Por realizarse tres pruebas de Wilcoxon, se fija el valor $p=0,016$ ($0,05/3$) para aceptar o rechazar la hipótesis nula en esta prueba.

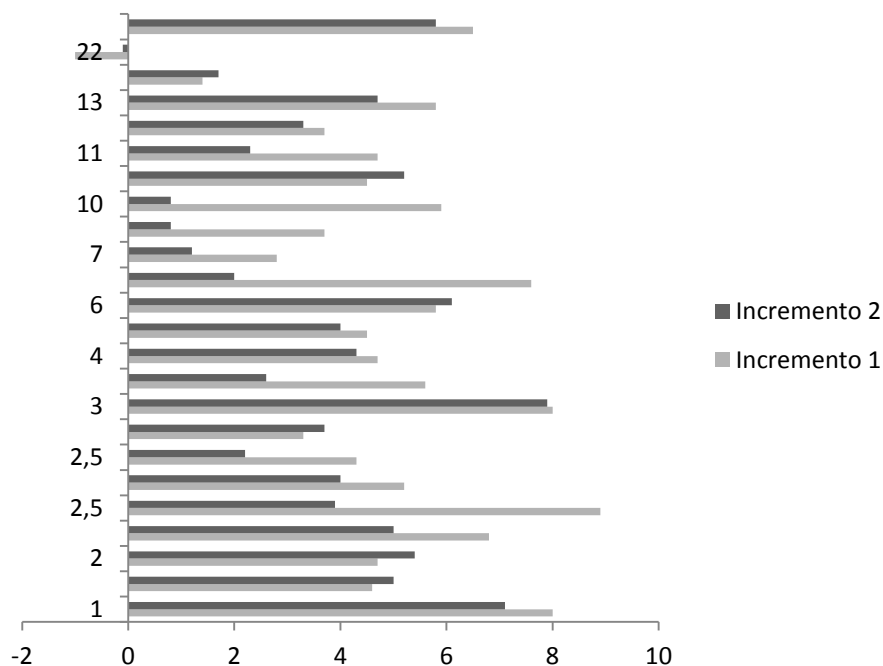


Figura 1. Incrementos en la concentración de lactato respecto a la situación de reposo. El incremento 1 se corresponde con la prueba de simulacro en torre; el incremento 2, en campo abierto.

-Los estadísticos descriptivos son los siguientes:

Tabla 1. Estadística descriptiva.

	Edad	Experiencia	Lactato en reposo	Lactato en torre	Lactato en campo
Media	35,2500	7,5417	2,7292	7,7292	8,8333
Mediana	36,0000	5,2500	2,8000	7,6500	6,8500
Desv. típ.	6,89833	6,83965	1,12307	1,80446	11,83718
Varianza	47,587	46,781	1,261	3,256	140,119
Rango	25,00	27,50	3,60	7,00	60,10
Mínimo	25,00	1,00	1,20	3,80	3,90
Máximo	50,00	28,50	4,80	10,80	64,00

-Los resultados de la prueba de Friedman presentan un valor de $p < 0,001$, es decir, existen diferencias entre los tres momentos. Destaca el elevado valor medio de

concentración en reposo. El incremento medio en campo es superior frente al obtenido en el simulacro en la prueba de torre (8.83 frente a 7,73).

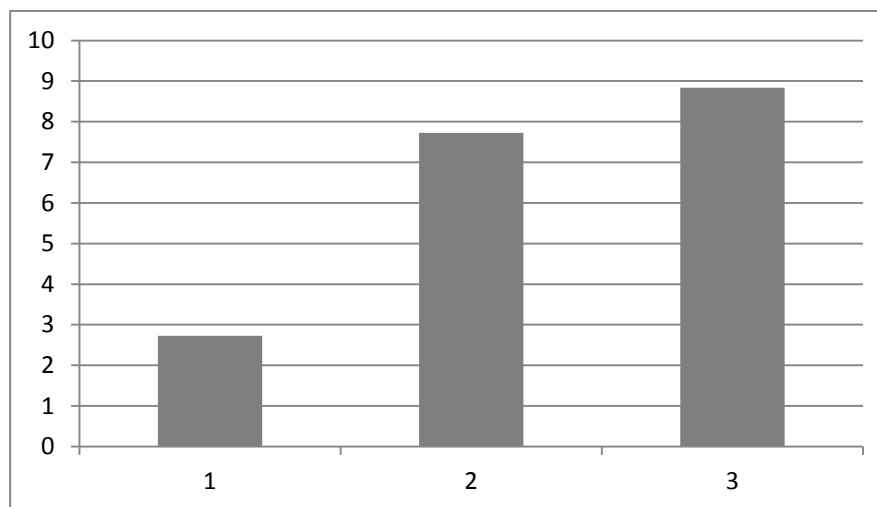
-Los resultados de la prueba de Wilcoxon son los siguientes:

Tabla 2. Correlación de valores.

	Lactato en torre – Lactato en reposo	Lactato en campo – Lactato en reposo	Lactato en campo – Lactato en torre
P	<0,001	<0,001	0,013

-Es decir, existen diferencias entre los tres momentos, $p < 0,016$ en todos los casos.

Figura 2. Valores medios de concentración de lactato. 1, reposo; 2, torre; 3, campo abierto.



-A continuación se reflejan las variaciones en la concentración de lactato al finalizar ambas pruebas, tomando como referencia la edad de los participantes y los años de experiencia en el cuerpo de bomberos.

Tabla 3. Incrementos en función de la edad y de la experiencia.

Incremento/Edad		Lactato en reposo	Lactato en torre	Lactato en campo
Edad	Correlación	0,138	-0,276	-0,445
	Sig. (bilateral)	0,520	0,191	0,029*
Incremento/Experiencia		Lactato en reposo	Lactato en torre	Lactato en campo
Experiencia	Correlación	0,285	-0,243*	-,494*
	Sig. (bilateral)	0,177	0,253	,014*

-Tal y como se puede apreciar, la edad y la experiencia están correlacionadas con el lactato en el campo, con unos coeficientes de -0,445 ($p=0,029$) y -0,494 ($p=0,014$) respectivamente. La correlación es negativa, es decir, cuanto más experiencia, menos lactato.

Figura 3. Distribución de las variaciones de la concentración de lactato en función de los años de experiencia. El incremento 1 se corresponde con el momento de la finalización de la prueba en torre; el incremento 2, finalización de la prueba en campo abierto.

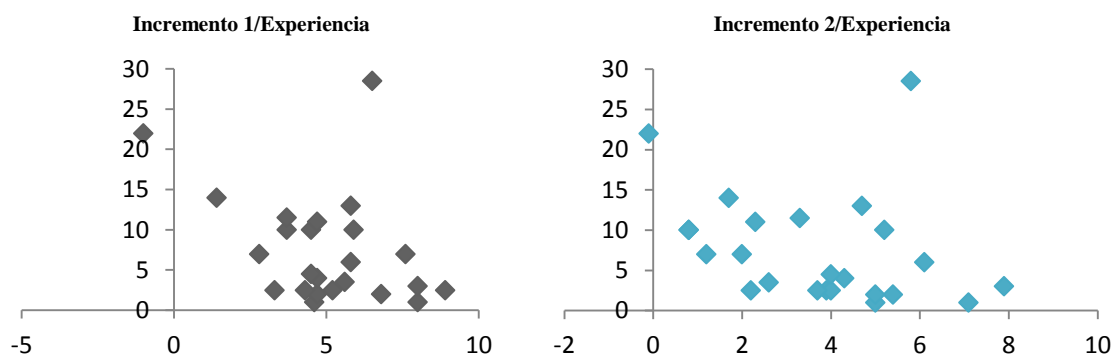
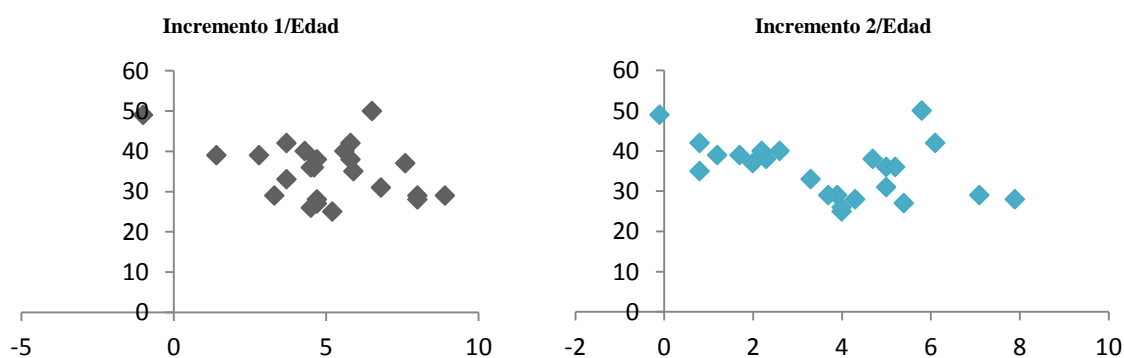


Figura 4. Distribución de las variaciones de la concentración de lactato en función de la edad de los participantes. El incremento 1 se corresponde con el momento de la finalización de la prueba en torre; el incremento 2, finalización de la prueba en campo abierto.



DISCUSIÓN

Con este trabajo se pretende comenzar una línea de estudio e investigación que continúe el equipo de investigación DERSA en colaboración de los bomberos de la Diputación Provincial de Zaragoza, para conocer y aprender diferentes aspectos de esta arriesgada profesión, y así ayudar a la mejora de su estado en el trabajo.

Me he integrado en este grupo para hacer junto con ellos esta parte, es decir, la medición de los valores del ácido láctico. Yo no realizaba las extracciones de las muestras de sangre a los bomberos, pero sí me he encargado de realizar la búsqueda bibliográfica, preparar el material en campo, pasar los datos obtenidos a un documento de Excell, organizarlos y sacar conclusiones.

Como comento anteriormente, el objeto de estudio son los valores de lactato. Soy consciente del déficit de algunos de los parámetros estudiados:

- El tiempo de realización del esfuerzo no era relevante, pues se permitió que cada bombero realizase la prueba a su ritmo, reflejando la velocidad a la que lo haría en un caso real.
- No se mide la frecuencia cardiaca, dejándolo como objeto de estudios posteriores que lleve a cabo el grupo de investigación.
- No se da, tampoco, el $\text{VO}_2\text{máx}$, pero sí que se tomó el aire consumido durante toda la primera actividad (torre), pues llevaban la máscara con la bombona al tratarse de un sitio cerrado.

Por ello, el único objeto de estudio era conocer la relación entre la edad-experiencia y los niveles de ácido láctico obtenidos en las pruebas.

El ácido láctico es un ácido orgánico descubierto por el químico Wilhelm Sheele en 1780. Dentro del organismo humano se encuentra en forma de lactato, es decir, la forma disociada del ácido. Se produce de manera continua en las células del organismo, incluso en reposo. Durante el ejercicio, la concentración de lactato sanguíneo se incrementa en función de la intensidad del esfuerzo. La utilización de lactato como parámetro de la intensidad del entrenamiento es un indicador bastante objetivo de la misma, interesante en áreas como la medicina, la medicina del deporte, la bioquímica, la nutrición... Dentro del contexto del deporte y del entrenamiento, el lactato se emplea en

la monitorización fisiológica y bioquímica de los deportistas. Sin embargo se debe tener en cuenta las posibles interferencias y sus limitaciones a la hora de llevar a cabo la interpretación de los datos, así como considerar las diferencias entre los individuos. Smith (2002) dice que a pesar de la extensa lista de factores potencialmente confusos, el uso de mediciones de lactato en situaciones de entrenamiento y competencia siguen siendo realizadas como procedimientos de rutina y propone que la premisa básica es que la intensidad aumenta y la concentración de lactato sanguíneo también, reflejando el proceso metabólico envuelto en la producción de energía. Cuando se realizan trabajos de carácter científico en los que se busca definir intensidades se debe utilizar la concentración de lactato como un valor relativo y que se comporta a distintos niveles entre las personas pero con iguales tendencias. Por tanto, la valoración del lactato es una forma correcta y válida para medir el esfuerzo realizado por un sujeto, pues tiene diversas aplicaciones:

- Controlar la intensidad de entrenamiento: el lactato, al igual que la frecuencia cardiaca, es una variable que sirve para determinar la intensidad del esfuerzo.
- Valorar el rendimiento: ya que los niveles de lactato concentrado disminuirán a una misma intensidad como consecuencia de una adaptación fisiológica al proceso de entrenamiento.
- Determinar las zonas de entrenamiento: valorar el máximo nivel de lactato en estado estable permite establecer los umbrales (anaeróbico y aeróbico), así como las correspondientes zonas de rendimiento.
- Estimar los sustratos energéticos empleados: pues se conoce que la lactatemia a intensidades medias (aproximadamente al 80% de la frecuencia cardiaca máxima) tiene una correlación significativa con la cantidad de carbohidratos utilizados durante el esfuerzo.

La mitad de los sujetos presentan valores de reposo considerados dentro de la normalidad, con un máximo de 2 mmol l^{-1} . Dos están entre 2 y 3 mmol l^{-1} ; cinco entre 3 y 4 mmol l^{-1} y, finalmente, cuatro sujetos se encuentran por encima de 4 mmol l^{-1} . Por tanto, el valor medio queda por encima de un valor normalizado, $2,73 \text{ mmol l}^{-1}$. Este hecho se debe a que los participantes del estudio han acudido a la realización de la prueba al finalizar su servicio, por lo que no han llegado a recuperar por completo los valores iniciales.

Por otra parte, uno de los sujetos presenta como valor más alto de concentración de lactato en sangre la toma realizada en situación de reposo. La explicación se debe a la carrera realizada para llegar a tiempo a la explicación del protocolo a realizar, por lo que no le ha dado tiempo suficiente para una recuperación completa.

De acuerdo con la bibliografía consultada, se pueden obtener resultados diferentes en función de las pautas a seguir en las diferentes pruebas realizadas. Por ejemplo, Louhevaara et al (1995) hablan de una reducción de un 25% en la efectividad del trabajador utilizando un equipo completo con un peso de 24 kg, 10kg más que el utilizado en la prueba en torre realizada en nuestro estudio.

Otros autores han realizado pruebas combinadas más complejas, de duración mayor. En esta línea, Oksa et al (2013) apuntan un ejercicio de simulacro de unos 20 minutos de duración, compuesto por cinco estaciones de 2,5 minutos cada una. En nuestro estudio sólo se ha realizado una prueba de duración similar, el ejercicio en torre. La prueba en campo abierto tiene una mayor duración, pero el tiempo transcurrido entre las dos pruebas es de 20 minutos, aproximadamente, lo que facilita la recuperación del sujeto. Sin embargo, el citado estudio en otras variables determinantes de la fatiga, como la temperatura muscular, la frecuencia cardíaca y la actividad electromiográfica. Robinson et al (2013) añaden la medición del nivel de ansiedad mediante los niveles de cortisol presentes en los sujetos.

La comparativa entre diferentes tests con bomberos aparece frecuentemente en la bibliografía. En esta línea, Mamen et al (2013) analizan dos test, uno de laboratorio y otro de campo, el denominado “test canadiense”. Para el primero de ellos se han utilizado zapatillas de deporte en vez de botas; tampoco se ha utilizado el casco. Dentro de nuestro estudio, el test de campo abierto se podría asemejar más a estas condiciones, con la salvedad de las variables a estudiar –frecuencia cardíaca y consumo máximo de oxígeno frente a la concentración de lactato, respectivamente-. El “test Canadiense” se compone de 10 estaciones, entre las que se incluye el rescate de una víctima. Es el más parecido al simulacro en torre realizado en nuestro estudio, pero con una duración temporal más extensa. Los autores sugieren que una duración similar de ambos tests facilitaría una comparativa más rigurosa, aventurando una duración de 6 minutos máximo.

Por otra parte, von Heimburg et al (2013) incluyen el test Trodheim, consistente en tres partes diferenciadas: emergencia o activación y llegada a la escena de actuación (fuego real), actuación y retorno. La diferencia más notable entre este test y los realizados en nuestro estudio es la inclusión de esa fase inicial de traslado a la zona de acción. Para una nueva repetición del estudio se puede incluir esta fase.

Existen unos circuitos que reciben el nombre de PAT (Steven Rhyan), Test de Habilidad Física, utilizados para el entrenamiento de bomberos, que consiste en una sucesión de ejercicios anaeróbicos de entre 15 y 60 segundos, y alguno de poco más de un minuto. Cada ejercicio deben completarlo de la manera más rápida posible. Está permitido descansar, pero el reloj sigue contando el tiempo. Cada PAT tiene su propio límite de tiempo, y puede variar entre países e incluso estados. Las pruebas vistas en el artículo son: tirar de la manguera, subir la escalera, arrastrarse por un terreno, romper el acceso a una azotea con un martillo, arrastrar un maniquí, alzar la manguera hasta un piso y alzar un conjunto de mangueras; elementos que aparecen en nuestra investigación.

Otra manera de medir la aptitud física de los bomberos es la llevada a cabo por Sabido, Gómez, Barbado y Gómez-Valadés, realizando una prueba específica y cinco pruebas de condición física (50m de velocidad, fuerza máxima en press de banca a 1RM, flexibilidad de cadera, fuerza resistencia del tren inferior y VO₂máx). La prueba específica consistía en subir una torre de cuatro plantas dos veces seguidas, habiendo 24 escalones de 30cm cada uno entre planta y planta; con el traje y la botella, es decir, con 22kg. Se registraron la frecuencia cardiaca antes de la prueba, justo al terminarla y pasado un minuto, y el lactato antes de la prueba y pasado un minuto; del mismo modo que se hace en nuestro estudio; además la prueba tiene la misma base que la nuestra.

CONCLUSIONES

A raíz de los datos obtenidos, se puede afirmar que el nivel de esfuerzo realizado por los bomberos en ambos simulacros está por encima de su umbral anaeróbico. Se han encontrado valores similares a pruebas deportivas de alto nivel. Este alto nivel de fatiga se relaciona directamente y de manera inversa con la edad de los sujetos y con los años de experiencia de los mismos.

Debo señalar que en este Trabajo Fin de Grado solamente se han analizado las variaciones de lactato al finalizar dos pruebas de simulación. Se abre un nuevo frente de trabajo en el que se podrán analizar diferentes variables relacionadas con el estrés y la fatiga: frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno. Del mismo modo, se podrán modificar las condiciones de las pruebas de simulación, con la inclusión de fuego real. El equipo de investigación DERSA podrá hacer nuevas investigaciones con los bomberos de la Diputación Provincial de Zaragoza.

CONCLUSIONS

Based on the data obtained from the analysis, we can say that the level of effort done by the firefighters in both simulations is over the anaerobic threshold. We have found similar values to other high level sport tests. This high level of fatigue is directly related, but in the opposite way, with the age of the individuals and their experience.

I would like to emphasize that in this Final Degree Exercise, we only have analyzed the lactic acid variances at the end of both simulations. So there are a lot of new possibilities to be investigated in relation with stress and fatigue: cardiac frequency, oxygen consumption.

In the same way, the conditions of the simulations could be modified including real fire. The investigation equipment, DERSA, will be able to make new studies with the local government firefighters.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahumada, F. (2012). Ácido láctico-Lactato: ¿Qué es, para qué sirve medirlo y qué aplicaciones tiene en el entrenamiento? I+D. Extraído el 19 de enero de 2014, de <http://www.suplementosacross.com/investigacion.php?id=145>

Barr, D.; Gregson, W.; Reilly, T. (2010). The thermal ergonomics of firefighting reviewed. *Applied Ergonomics*, 41, 161-172.

Batson, G. (2013). Exercise induced central fatigue: a review of the literature with implications for dance science research. *Journal of Dance Medicine & Science*, 17 (2), 53-62.

Cairns, S. (2006). Lactic acid and exercise performance: culprit or friend. *Sports Medicine*, 36 (4), 279-291.

Del Sal, M.; Barbieri, E.; Garbati, P.; Sisti, D.; Rocchi, M.; Stocchi, V. (2009). Physiologic Responses of Firefighter recruits during a supervised live-fire work performance test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (8), 2396-2404.

Eglin, C.M.; Coles, S.; Tipton, M.J. (2004). Physiological responses of fire-fighter instructors during training exercises. *Applied Ergonomics*, 47(5), 483-94.

Gledhill, N.; Jamnik, V.K. (1992). Characterization of the Physical Demands of Firefighting. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17 (3), 207-13.

Holmer, I.; Gavhed, D. (2007). Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads. *Applied Ergonomics*, 38, 45–52.

Lemon, P.W.; Hermiston, R.T. (1977). The human energy cost of fire fighting. *Journal of Occupational Medicine*, 8, 558–562.

Louhevaara, V.; Ilmarinen, R.; Griefahn, B.; Künemund, C.; Mäkinen, H. (1995). Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics. *European Journal of Applied Physiology*, 71, 223-229.

Mamen, A.; Oseland, H.; Medbo, J.I. (2013). A comparison of two physical ability tests of firefighters. *Applied Ergonomics*, 56 (10), 1558-68.

Mamen, A.; van den Tillaar, R. (2009). Estimating the maximal lactate steady state power from an incremental test using Lactate Pro LP1710. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 21, (1), 74-85.

Martin, A.; González, C.; Llop, F. (2006). Present and future of lactic acid. *Archivos de medicina del deporte*, 24 (120), 270-284.

McLean, S.; Norris, S.; Smith, D. (2004). Comparison of the Lactate Pro and the YSI 1500. Sport blood lactate analyzers. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 16 (2), 22-30.

Mukherjee, S.; Chia, M. (2006). Evaluation of the Lactate Pro portable blood lactate analyser involving multiple-tester approach. *Asian Journal of Exercise & Sports Science*, 3 (1), 55-60.

Oksa, J.; Rintamäki, H.; Takatalo, K.; Mäkinen, T.; Lusa, S.; Lindholm, H.; Rissanen S. (2013). Firefighters muscular recovery after a heavy work bout in the heat. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 38 (3), 292-9.

Pérez, J. (2013). Efeitos de diferentes modelos de periodização do treinamento aeróbio sobre parâmetros cardiovasculares, metabólicos e composição corporal de bombeiros militares. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 27 (3), 363-376.

Perroni, F.; Tessitore, A.; Cortis, C.; Lupo, C.; D'Artibale, E.; Cignitti, L.; Capranica, L. (2010). Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (12), 3457-3463.

Popadic, J.; Klasnja, V.; Grujic, N. (2013). Changes in strength, endurance, and fatigue during a resistance-training program for the triceps brachial muscle. *Journal of athletic training*, 48 (6), 804-809.

Rhea, M.; Alvar, B.; Gray R. (2004). Physical fitness and job performance of firefighters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 348-352.

Rhyan, S. (2006). Improving fatigue resistance for a firefighter physical ability test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (4), 60-67.

Robinson, S.J.; Leach, J.; Owen-Lynch, P.J.; Sünram-Lea, S.I. (2013). Stress reactivity and cognitive performance in a simulated firefighting emergency. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 84, 592-9.

Rossi, R. (2003). Firefighting and its influence on the body. *Applied Ergonomics*, 46 (10), 1017-33.

Sabido, R.; Gómez, J.; Barbado, D.; Gómez-Valadés, J.M. (2013). Rendimiento en una prueba específica de bomberos y su relación con tests específicos. *European Journal of Human Movement*, 30, 23-35.

Smith, D.L. (2011). Firefighter fitness: Improving performance and preventing injuries and fatalities. *Current Sports Medicine Reports*, 10 (3), 167-172.

Smith, D.L.; Petruzzello, S.J.; Kramer, J.M.; Misner, J.E.; (1996). Physiological, psychophysical, and psychological responses of firefighters to firefighting training drills. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67, 1063–1068.

Surenkok, O.; Kin-Isler, A.; Aytar, A.; Gültekin, Z. (2008). Effect of trunk-muscle fatigue and lactic acid accumulation on balance in healthy subjects. *Journal of Sport Rehabilitation*, 17, 380-386.

von Heimburg, E.D.; Rasmussen, A.K.; Medbo, J.I.; (2006). Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. *Applied Ergonomics*, 49, 111–126.

von Heimburg, E.; Medbo, J.I. (2013). Energy Cost of the Trondheim Firefighter Test for Experienced Firefighters. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19 (2), 211-225.

von Heimburg, E.; Medbo, J.I.; Sandsund, M.; Reinertsen, R. E. (2013). Performance on a work-simulating firefighter test versus approved laboratory tests for firefighters and applicants. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19 (2), 227-243.

Walsh, B.; Tiiveli, T.; Tonkonogi, M.; Sahlin, K. (2002). Increased concentrations of P_i and lactic acid reduce creatine-stimulated respiration in muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 92, 2273-2276.

Weir, J.; Beck, T.; Cramer, J.; Housh, T. (2006). Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 573-586.