



Entrenamiento para ambientes extremos



MINISTERIO DE DEFENSA

Entrenamiento para ambientes extremos

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Edita:



© Autor y editor, 2013

NIPO: 083-13-139-9 (impresión bajo demanda)

Fecha de edición: octubre 2013



www.bibliotecavirtualdefensa.es



NIPO: 083-13-140-1 (edición libro-e)
ISBN: 978-84-9781-846-9 (edición libro-e)

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad del autor de la misma.
Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del © Copyright.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
FATIGA AGUDA: BASES CONCEPTUALES	13
Concepto de fatiga	13
Aspectos fisiológicos del ejercicio	15
Aspectos psicológicos del ejercicio	20
Indicadores físicos de la fatiga muscular	21
Bibliografía	22
SOBREENTRENAMIENTO Y EJERCICIO EN AMBIENTES EXTREMOS	25
Diagnóstico	28
Prevalencia	37
Prevención	37
Modelo de ficha para la prevención del OTS	45
Bibliografía	46
ENTRENAMIENTO EN ALTURA: ¿LA MOTO MEJOR VENDIDA DE LA HISTORIA DE LA FISIOLÓGÍA DEL EJERCICIO?	55
Bibliografía	66
ENTRENAMIENTO DE UNIDADES ESPECIALES: MONTAÑA ...	67
ENTRENAMIENTO PARA PERSONAL DE VUELO	75
Volar: una actividad de riesgo. Breve recuerdo histórico	75
Condiciones medio-ambientales y seguridad de vuelo	76
Principales problemas médicoaeronáuticos que pueden condicionar la seguridad de vuelo	76
Bases preventivas en seguridad de vuelo: Selección, formación, supervisión	79
Entrenamiento del personal de vuelo: Técnico, fisiológico y físico .	80
ENTRENAMIENTO SUBACUÁTICO: INMERSIONES DE GRAN PROFUNDIDAD	87
Introducción	87
Empleo de los equipos de buceo	91
Fases de la inmersión	92
Situaciones fisiológicas: Bradicardia de inmersión	93
Situaciones patológicas	93
Bibliografía	97

ENTRENAMIENTO DE UNIDADES ESPECIALES: BOMBEROS . .	99
Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid. Entrenamiento físico	107
Bibliografía	111
INSTRUCCIÓN PARA OPERACIONES EN DIVERSOS ESCENARIOS. LA UNIDAD MILITAR DE EMERGENCIAS	115
Introducción	115
Características generales de la instrucción en la UME	116
Contenidos de la instrucción básica en la UME	117
Instrucción sanitaria básica UME.	118
Instrucción sanitaria para reservistas en la UME	119
Instrucción sanitaria en ambiente extremo	120
Entrenamiento de figurantes para SVB y SVA en la UME.	121
Conclusiones	122
Bibliografía	122
Clasificación y triaje en situación de bajas/víctimas múltiples o masivas: ¿Un escenario extremo?	123
ENTRENAMIENTO EN DEPORTES DE RESISTENCIA DE LARGA DURACIÓN	129
¿Estamos preparados para los esfuerzos de larga duración?	129
Cuánto se puede mejorar	130
Intensidad fisiológica de la competición	131
Factores que determinan el rendimiento	136
Métodos de entrenamiento	138
Conclusiones	142
Bibliografía	144
LÍMITES GENÉTICOS DEL ENTRENAMIENTO	147
Consideraciones iniciales	147
Genética y deporte	149
Genes o combinaciones de genes.	159
Conclusiones	162
Bibliografía	163
COMUNICACIONES EN FORMATO DE PÓSTER	165
REHIDRATACIÓN CON DOS BEBIDAS DE DIFERENTE MINERALIZACIÓN TRAS EJERCICIO SUBMÁXIMO Y PROLONGADO EN AMBIENTE CÁLIDO: CAMBIOS EN LA DIURESIS	168
Introducción	168
Metodología	172
Resultados	176
Discusión	180
Conclusiones	182
Bibliografía	184

PREDICCIÓN DEL RITMO DE COMPETICIÓN EN CARRERAS DE FONDO DESDE LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO A RITMOS CERCANOS AL DE COMPETICIÓN.	188
Introducción	188
Objetivos	188
Material y métodos	188
Resultados	189
Discusión	189
Conclusiones	190
Bibliografía	191
RELACIÓN ENTRE PORCENTAJE 1RM Y VELOCIDAD MEDIA PARA SENTADILLA A 90° EN MULTIPower EN DEPORTISTAS DE RESISTENCIA.	194
Introducción	194
Objetivo	194
Resultados	194
Método	194
Discusión	195
Conclusión	195
Bibliografía	196
Dirección para correspondencia	196
NECESIDAD DE SALVAVIDAS VIRTUALES COMO SOLUCIÓN PARA LAS FAS.	198
Introducción y objetivos	198
Métodos	198
Resultados y discusión	198
Conclusiones	198
Bibliografía	200
EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO CON INESTABILIDAD: UN ESTUDIO PILOTO	202
Introducción	202
Objetivos	202
Material y métodos	203
Discusión y conclusiones	204
Bibliografía	205
MEDICIÓN ELECTROMIOGRÁFICA DE LA FATIGA MUSCULAR EN ATLETAS DE MEDIO FONDO CON MEDIAS DE COMPRESIÓN GRADUAL	208
Introducción	208
Objetivo	208
Métodos	208
Resultados	209

Discusión	209
Referencias	209
Contacto.	209
COLITIS ISQUÉMICA TRAS EJERCICIO FÍSICO EXTENUANTE .	212
Introducción	212
Caso clínico	212
Discusión	213
Bibliografía	214
EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO EN NIÑOS CON FIBROSIS QUÍSTICA	216
Introducción	216
Objetivo	216
Material	217
Método	217
Resultados	218
Discusión y conclusiones	218
Bibliografía	219
LA CAPACIDAD FUNCIONAL EN UN GRUPO DE NIÑOS CON FIBRO- SIS QUÍSTICA COMPARADO CON UN GRUPO DE NIÑOS SANOS .	222
Introducción	222
Objetivos	222
Material y métodos	222
Discusión y conclusiones	223
Bibliografía	224
AGOTAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN EN GRAN ALTITUD	226
Introducción	226
Caso clínico	226
Conclusiones.	228
PREPARADO ISOTÓNICO PARA REHIDRATACIÓN EN LAS FUER- ZAS ARMADAS. EVALUACIÓN FARMACOTÉCNICA DE LAS FOR- MULACIONES PREVIA A SU PRODUCCIÓN INDUSTRIAL	230
Introducción	230
Objetivo	230
Materiales y métodos	231
Resultados	231
Discusión	231
Conclusión.	231

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte

PRESENTACIÓN

Existen diversas profesiones caracterizadas por desarrollarse en condiciones medioambientales singulares, que definen la capacidad de acción en situaciones de fatiga, calor, humedad o privación de sueño y que requieren de una preparación psicofísica adecuada: militares, policías, bomberos, personal dedicado a tareas de rescate, personal de seguridad... Estas personas, que bien podrían considerarse *deportistas de acción*, requieren un entrenamiento físico y mental especial que les permite acometer su tarea con seguridad y eficacia.

De un modo semejante a la preparación que requiere un deportista de alta competición, estos profesionales que arriesgan su vida en beneficio de la sociedad han de dedicar muchas horas y mucha ilusión al acondicionamiento físico general, fuerza, habilidad, agilidad, resistencia, nutrición y descanso reparador. Además, el estar sometidos a un medio ambiente adverso acentúa más la necesidad de un entrenamiento especial.

La Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Europea de Madrid propone un foro de reflexión de carácter multiprofesional que desde el conocimiento científico contribuya a desarrollar el entrenamiento para el ejercicio en ambientes extremos.

La Subdirección General de Publicaciones del Ministerio de Defensa de España, en colaboración con la Universidad Europea de Madrid, edita este *Libro de actas* que recoge documentos expuestos en el I Simposio Internacional sobre Entrenamiento para Ambientes Extremos, organizado por la Facultad de Ciencias de la Educación Física y el Deporte de la Universidad Europea de Madrid los pasados días 15 y 16 de junio de 2012 en el campus universitario de Villaviciosa de Odón (Madrid). Los documentos que se publican son textos monográficos y comunicaciones en forma de póster y la responsabilidad de lo que en ellos se expone pertenece a cada uno de los autores.

El comité científico concedió el 1.^{er} premio a la comunicación en formato de póster titulada "Preparado isotónico para rehidratación en la Fuerzas Armadas. Evaluación farmacocinética de las formulaciones previa a su producción industrial", cuyo primer firmante fue D. Antonio Juberías Sánchez. El 2.^o premio correspondió a la comunicación en formato de póster titulada "Efectos de un

programa de entrenamiento sobre niños con fibrosis quística”, cuya primera firmante fue D.^a Elena Santana Sosa.

Queremos agradecer de todo corazón la ilusión puesta por los autores en la redacción de cada uno de estos capítulos, así como al gran número de personas que directa o indirectamente nos han brindado su ayuda para este proyecto, que esperamos sea la etapa inicial de un largo recorrido.

En la fecha en la que se publica este texto hemos de lamentar el fallecimiento, el viernes 4 de enero de 2013, del Prof. D. Juan Ignacio Mayorga García, presidente del comité organizador del Simposio y principal impulsor de la idea, decano y alma fundamental de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Europea de Madrid desde su fundación. Sirva esta edición como un homenaje más entre la infinidad de muestras de cariño expresadas, de las que con su vida ejemplar se hizo acreedor. Descanse en paz.

Luis M. López Mojares
Director del I Simposio Internacional sobre
Entrenamiento para Ambientes Extremos



**COMITÉ ORGANIZADOR DEL I SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE
ENTRENAMIENTO PARA AMBIENTES EXTREMOS
Universidad Europea de Madrid**

Presidente:

Dr. Juan Ignacio Mayorga García
Decano de la Facultad de CC. de Actividad Física y Deporte de la Universidad
Europea de Madrid

Director:

Dr. Luis Miguel López Mojares

Coordinador:

Dr. Nicolás de la Plata Caballero

Comité Científico:

Dr. Sergio Calvo Fernández
Dra. María Adelaida Portela Lozano
Dr. Félix Gómez Gallego
Dra. Margarita Pérez Ruiz
Dr. Sergio Jiménez Sáiz
Dr. Luis M. López Mojares

FATIGA AGUDA: BASES CONCEPTUALES

Margarita Pérez Ruiz
Profesor titular de Fisiología del Ejercicio
Departamento de Ciencias Morfológicas y Biomedicina
Universidad Europea de Madrid

Concepto de fatiga

La fatiga se define como la incapacidad para seguir generando un nivel de fuerza (o una intensidad de ejercicio) determinada. La fatiga, considerada como el estado en el que el deportista no puede mantener el nivel de rendimiento o entrenamiento previo o esperado, es una situación usual y a veces necesaria dentro de la práctica deportiva para llegar a la máxima adaptación de los sistemas orgánicos y al alto rendimiento.

Aunque la fatiga suele ser multifactorial e implicar a la vez a varios eslabones de la cadena de fenómenos biológicos que nace en el cerebro y acaba en la contracción muscular, se pueden determinar dos tipos según su localización: “fatiga central” y “fatiga periférica”.

Fatiga central

Llamamos fatiga de origen central a aquella fatiga cuya causa está por encima de la placa motora (unión entre el extremo de una neurona y la fibra muscular) y afecta a una o más de las estructuras nerviosas involucradas en la producción, mantenimiento o control de la contracción muscular (figura 1).

En base a la sucesión de acontecimientos en la génesis del potencial de acción, Green establece en 1990 como causas de aparición de la fatiga central:

1. Fallo en la activación neuronal:
Alteraciones a este nivel pueden impe-

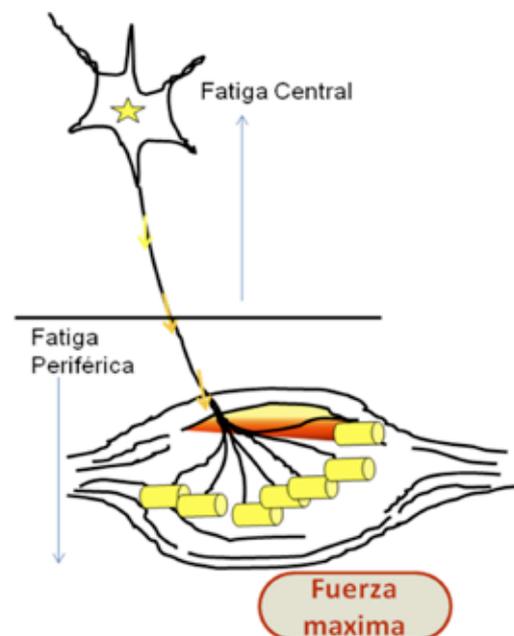


Figura 1: Tipos de fatiga según la localización de la causa. (p. 4)

dir o reducir la transmisión del impulso nervioso desde la motoneurona hasta la fibra motriz por:

- Alteraciones intrínsecas de las motoneuronas (hipoglucemia, incremento de los niveles de amonio...).
- *Feed-back* negativo desde el músculo agonista con resultado de reflejo inhibitorio. Algunos estímulos químicos y mecánicos actúan sobre los metabolorreceptores enviando un estímulo inhibitorio desde el músculo a través de las ramas aferentes III y IV hacia la motoneurona alfa.
- El enfriamiento del músculo o la disminución en la longitud del mismo también son estados que conllevan la necesidad de incrementar el nivel de activación neuronal para un mismo nivel de fuerza.

2. Fallos en la transmisión del potencial de acción al área postsináptica, involucrando el funcionamiento del neurotransmisor (cantidad y calidad de la acetilcolina). En la fatiga aguda, el incremento en los niveles de triptófano (aminoácido aromático) conllevan un aumento en la producción de serotonina, neurotransmisor vinculado a una reducción del rendimiento (Bailey y Cols, 1993).

3. Factores psicológicos como la motivación para el ejercicio, que aunque ejerce una influencia negativa, no hay evidencias de acción inhibitoria.

El sistema nervioso dispone de mecanismos para retrasar este tipo de fatiga como es el alternar la activación de unidades motrices (mientras unas trabajan permiten descansar a otras) y la sincronización de las distintas unidades motrices para generar la fuerza deseada. En aquellos deportes de fuerza máxima y compleja coordinación estos mecanismos podrían ser determinantes.

Fatiga periférica

Es la que afecta a las estructuras situadas por debajo de la placa motora y que intervienen en la contracción muscular. Una vez ha llegado el estímulo eléctrico, este se transmite por toda la fibra. La red interna de canales y las propias invaginaciones de la membrana permiten que el potencial de acción llegue hasta las cisternas que contienen calcio en su interior, dando la orden de vaciado. Por gradiente de difusión, el calcio difunde rápidamente por todo el interior de la fibra y se fija a la subunidad C de la troponina; en ese momento la troponina T produce un arrastre de la tropomiosina que se halla cubriendo los puntos activos de la molécula de actina, dejando libres los puntos de anclaje. La cabeza de la miosina tiene mucha afinidad por estos puntos activos, a los que se fija rápidamente. Esta unión activa la enzima ATPasa, necesaria para hidrolizar el ATP y permitir que la molécula de miosina efectúe sus movimientos de giro en bisagra, se separe del punto activo de la actina y forme otros nuevos puentes.

La contracción cesa cuando el calcio vuelve al retículo sarcoplásmico mediante un bombeo activo en presencia de la enzima ATPasa del calcio y de ATP.

Una vez conocida la dinámica de la contracción muscular, la fatiga podría aparecer en cualquiera de estos pasos enunciados por:

1. Fallo en la membrana postsináptica de la placa motora, dificultando la propagación del potencial de acción: Puede alterarse la propagación del potencial de acción debido a la salida de K^+ intracelular y entrada de agua a la fibra durante la contracción muscular. La alteración del balance Na-K se transmite a los tubos en T y disminuye la liberación de Ca^{2+} desde el retículo sarcoplásmico. Por otro lado, también podría existir compromiso en el paso de sustancias (hormonas, sustratos, metabolitos) a través de la membrana debido a la pérdida de la actividad eléctrica de la misma por la salida de iones (Brooks, 1991).

2. Fallo a nivel del retículo sarcoplásmico (RS) y su acople con los (TT): El mecanismo de propagación del impulso nervioso podría verse alterado de manera que afectara su llegada a través de los TT al retículo sarcoplásmico, limitando la liberación del Ca^{2+} . La reducción del nivel de calcio en el citoplasma lo haría también del nivel de tensión muscular alcanzada al afectar al número de enlaces actomiosínicos formados.

3. Fallo a nivel de la unión del Ca^{2+} con la troponina C. La incapacidad para esta unión limita la interacción de los puentes de actina-miosina, reduciéndose la sensibilidad de estas proteínas al Ca^{2+} . Un acúmulo de H^+ en el interior de la fibra también afectaría a este nivel de la contracción muscular al competir por el receptor con el Ca^{2+} .

4. Fallo a nivel de la interacción de la actina y la miosina: Algunos metabolitos (como el fósforo inorgánico) producen una inhibición a este nivel condicionando una menor tensión por la falta de acople de la actina y la miosina.

5. Fallo en la relajación: La relajación ocurre cuando el Ca^{2+} regresa al RS mediante un mecanismo de transporte activo en presencia de ATP y enzimas específicas (Ca-ATPasa) cuya actividad puede verse comprometida por el acúmulo de metabolitos como el Pi. Por esta razón, la aparición de la fatiga se asocia con incrementos mantenidos en los niveles de Ca^{2+} intracelular. La dependencia de la apertura de los canales del RS con la disponibilidad de ATP hace que la concentración del mismo pueda ser un factor condicionante.

Aspectos fisiológicos del ejercicio

El ejercicio extenuante altera la homeostasis del organismo. El organismo responde de una forma adecuada para evitar el desequilibrio, pero conforme alargamos el tiempo de ejercicio o aumentamos la intensidad del mismo los

sistemas sufren cambios en su respuesta que hacen que a veces le resulte difícil mantener la homeostasis. La consecuencia en ocasiones es la acumulación de algunas sustancias que circulan por la sangre y que o atraviesan la barrera hematoencefálica (citoquinas, amonio, etc.) o producen un agotamiento de nutrientes importante para la célula nerviosa, originando la disminución de la glucosa, que puede alterar el funcionamiento del SNC y por ello el reclutamiento de unidades motoras.

Efectos del ejercicio en las unidades motoras

1. Consecuencias biomecánicas de la acumulación de metabolitos dentro de la fibra muscular.

La fatiga periférica o muscular parece deberse fundamentalmente a la acumulación de sustancias dentro de las fibras musculares que alterarían el acoplamiento de estimulación-excitación-contracción-relajación muscular (E-C-R). En particular, la fibra muscular se fatiga cuando la capacidad del retículo sarcoplásmico para liberar calcio al citoplasma disminuye. Contrariamente al pensamiento generalizado en las últimas décadas, la acidosis láctica no altera significativamente el acoplamiento E-C y por tanto no es uno de los principales factores causantes de la fatiga (Brooks, 2001); se acepta que son otros los factores que alteran el acoplamiento E-C: acumulación de Pi, Mg²⁺ o especies reactivas de oxígeno (figuras 2 y 3) y alteración estructural de la membrana

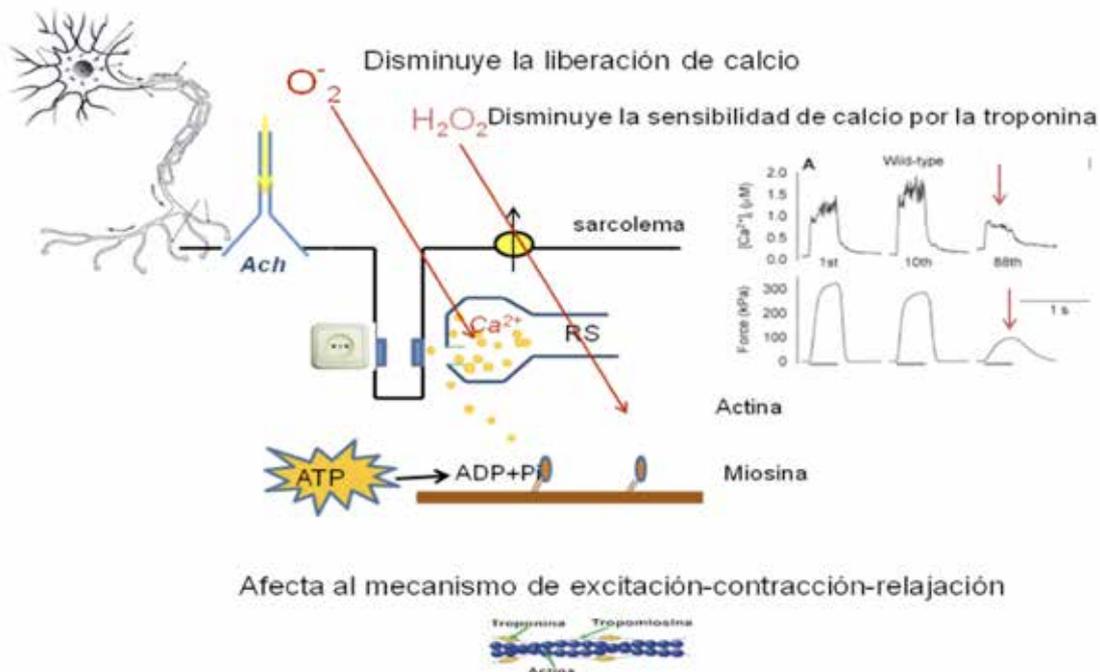


Figura 2: Radicales libres afectando el acoplamiento estimulación-excitación-relajación. (p. 8)

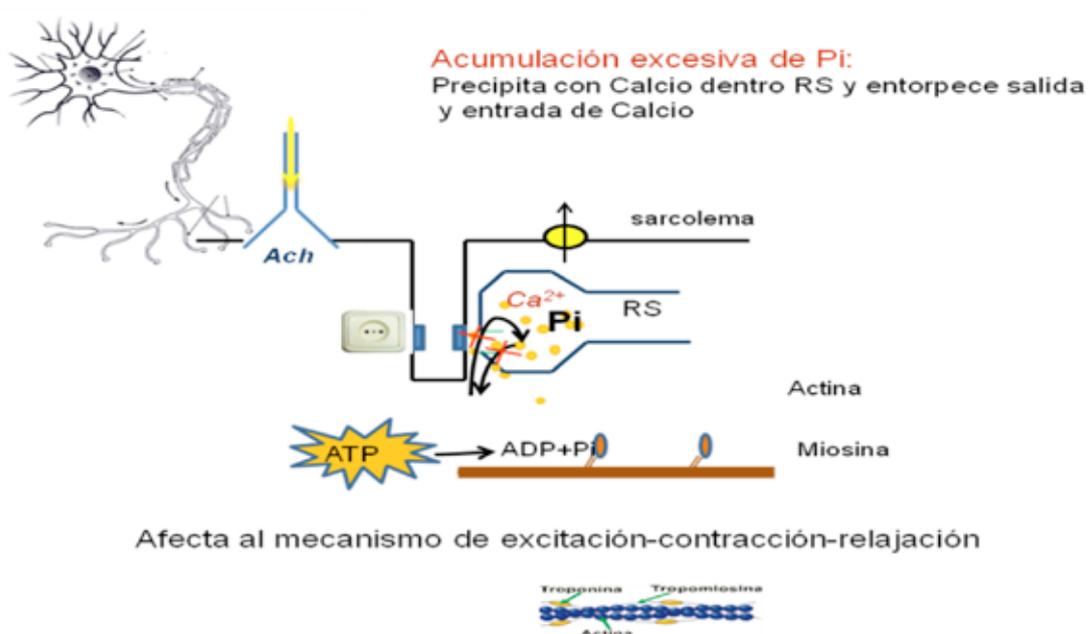


Figura 3: Acumulación de fósforo inorgánico en retículo sarcoplásmico.

del RS por estrés mecánico (Darnley, 2001, y Westerblad, 2002). Precisamente es este último hecho el que limitaría el rendimiento y la capacidad de contraerse en los músculos que sufren agujetas o DOMS (delayed onset of muscle soreness). La génesis de las agujetas (que aparecen sobre todo a consecuencia de las exigentes contracciones excéntricas) está en el daño estructural de las membranas de las fibras musculares y de sus triadas (conjunto que forma cada invaginación de membrana, el túbulo T y las cisternas de RS que cada túbulo T tiene a ambos lados).

Según el tipo, intensidad y duración del ejercicio, los factores ligados a la aparición de la fatiga son diferentes, predominando más la acumulación de metabolitos dentro de la fibra muscular en aquellos ejercicios dinámicos de intensidades altas frente a los ejercicios de intensidad moderada y larga duración donde el agotamiento del nutriente puede ser el origen en parte de la fatiga asociada al mismo.

2. Depleción de almacenes de glucógeno muscular.

Los ejercicios de intensidad alta mantenidos en el tiempo pueden ocasionar poco a poco disminución de los almacenes de glucosa por el consumo gradualmente incrementado de la glucosa sanguínea. Finalmente, la disponibilidad de glucosa es menor que el consumo y la concentración de la misma en sangre.

Esto ocurre generalmente después de 1-2 horas del comienzo de un ejercicio que trata de mantener una alta intensidad de trabajo. El cerebro necesita un aporte continuado de glucosa para su normal funcionamiento, los atletas tratan de evitar la disminución de glucosa sanguínea acontecida durante el ejercicio de larga duración con la ingesta continuada de bebidas con alto contenido en glucosa. (Jeukendrup, 2004).

3. Efectos del ejercicio en la estructura de la membrana muscular: acoplamiento excitación-contracción-relajación (E-C-R).

Para que un músculo desarrolle toda su fuerza muscular necesita tener acoplados una secuencia de eventos que comienzan con el estímulo eléctrico originado en la neurona, la liberación de acetilcolina y la llegada del potencial de acción al retículo sarcoplásmico que origina la liberación del calcio del mismo. Esta secuencia de eventos se denomina “acoplamiento excitación-contracción”. La disminución de la señal eléctrica o el bloqueo del acoplamiento excitación-contracción podría llevar a desarrollar menos fuerza muscular, jugando esto un papel importante en el desarrollo de la fatiga.

La acumulación de metabolitos musculares se produce por el gran suministro de ATP y la liberación de energía del mismo, necesario para la contracción muscular. Metabolitos como el Mg, Pi, ADP o H⁺ afectan a determinados puntos de la secuencia de activación del acoplamiento E-C, generando una disminución de la fuerza muscular y siendo la causa de la fatiga (Fitt, 1986).

Efectos del ejercicio en el medio interno

El ejercicio genera un estrés físico que trata de alterar la homeostasis del medio interno. Ante esta situación, los sistemas cardiovascular y respiratorio responden, tratando de alcanzar de nuevo la homeostasis.

Cuando la intensidad del ejercicio y la activación muscular requieren un suministro rápido de ATP, el gasto de nutriente aumenta y la necesidad de oxígeno es mayor, además de que en el músculo se produce una gran cantidad de productos entre los que destacamos el CO₂. Podemos resumir diciendo que los efectos del ejercicio en el medio interno ocasionan:

- Un incremento en el consumo de oxígeno y nutrientes.
- Un incremento en la producción y acumulación de CO₂, H⁺, lactato y amonio.
- Un incremento en la producción y acumulación de calor.

Los cambios en el medio interno pueden afectar al funcionamiento del sistema nervioso central y esto deteriorar directa o indirectamente el rendimiento muscular. El deterioro del estado estable del medio interno ocasionado por

el ejercicio intenso de larga duración puede inducir sensaciones de fatiga y agotamiento. Esta sensación tiene un efecto devastador sobre el rendimiento.

Efectos del ejercicio en el SNC

La función del SNC es compleja, pero el SNC juega un papel crucial en el mantenimiento del estado estable del medio interno. El *córtex* motor del cerebro es responsable de la generación del estímulo nervioso muscular y regulador de nuestra postura durante el ejercicio.

El SNC es vulnerable a la hipertermia, especialmente las neuronas localizadas en el área preóptica del hipotálamo, quien juega un papel importante en la regulación de la temperatura central. Probablemente, las temperaturas altas resultan ser críticas para enviar correctamente estímulos nerviosos a los músculos esqueléticos, lo que podría ser un factor limitante a la hora de realizar ejercicio de fuerza (Nielsen *et al.*, 2003).

Por otro lado, se sabe que el SNC consume aminoácidos (aa) de cadena ramificada (leucina, isoleucina, valina). Dicho consumo es incrementado durante el ejercicio, con lo que la concentración en sangre de los mismos desciende. Como el transportador utilizado por los aa ramificados y el triptófano para alcanzar el cerebro es el mismo, ante el descenso en sangre de aa este transportador se llena de triptófano, lo que permite que mucho triptófano precursor del neurotransmisor serotonina invada el cerebro, siendo esto causante de la somnolencia que acompaña a la fatiga durante ejercicios prolongados en el tiempo (Newsholme *et al.*, 1995).

En las últimas décadas los científicos han focalizado su atención en el estudio de las citoquinas. La fatiga es uno de los síntomas más importantes que acompaña a muchas enfermedades infecciosas, donde la activación del sistema inmune es elevada y por tanto el nivel de citoquinas en sangre se eleva, ocasionado un descenso del metabolismo energético para así permanecer en reposo. Se sospecha que después de ejercicios intensos y muy prolongados, donde el nivel de citoquinas aumenta en sangre, estas puedan llegar al SNC, provocando una respuesta de reducción del rendimiento como mecanismo de protección de los sistemas orgánicos (Robson-Ansley, 2004).

El flujo sanguíneo cerebral disminuye durante la hipertermia, impidiendo la llegada adecuada de sangre al cerebro (Herholz, 1987), pero no todos los investigadores están de acuerdo con esto. Así, los trabajos de Madson y otros en 1993 muestran un incremento de la velocidad de flujo sanguíneo durante el ejercicio dinámico, y trabajos realizados por Kempainen y otros en 2005, que investigan el metabolismo cerebral durante el ejercicio a diferentes cargas de trabajo, establecen una reducción de consumo de glucosa cerebral más pro-

nunciada en áreas cerebrales frontales y un incremento del consumo de lactato en cargas altas de trabajo.

Aspectos psicológicos del ejercicio

Sensación relacionada con el ejercicio

La sensación de fatiga desarrollada durante un ejercicio de contracción isométrica sostenida es diferente a la sensación de fatiga desarrollada durante una carrera de 42 kilómetros. En ambas situaciones la sensación de esfuerzo aumenta conforme avanza el tiempo de ejercicio, pero los factores fisiológicos que acontecen son diferentes y los síntomas desarrollados también. La contracción muscular mantenida conduce a una marcada acumulación de metabolitos musculares y la carrera de maratón ocasiona una gran depleción de nutrientes y de almacenes de glucógeno muscular. Un día después de la contracción muscular isométrica prolongada uno puede no sentir ni notar ninguna sensación anormal asociada a dicho ejercicio, mientras que después de la maratón uno es probable que experimente cansancio varios días después de finalizar dicho ejercicio.

No es conocido qué estructuras neuroanatómicas del SNC generan la sensación de esfuerzo y de fatiga. Clair Gibson sugiere en 2003 que la sensación de fatiga es la conciencia de ser consciente de los cambios en los sistemas de control homeostático subconsciente.

Escala de percepción de esfuerzo (RPE)

Borg desarrolló una escala psicofisiológica (escala de Borg) que vincula las sensaciones experimentadas durante el ejercicio con la intensidad del mismo (Borg, 1990). La escala contiene dos variables: “*componente físico*” y “*magnitud percibida*”; esta última corresponde al componente psicológico y representa la intensidad de esfuerzo percibido durante el ejercicio realizado. Los cambios metabólicos locales y cardiopulmonares originan cambios en la percepción durante el ejercicio, aunque no está claro cómo el SNC integra estas señales en una sensación global al esfuerzo. Experimentos realizados por Ekblom y Goldbarg en 1971 lo relacionan con entradas aferentes simpáticas y parasimpáticas que informan al cerebro de la situación en la que se encuentra el músculo del corazón.

El sistema de teleanticipación y otros conceptos

Una hipótesis bastante atractiva es la expuesta por el grupo sudafricano de Noakes y colaboradores, la denominada *hipótesis del controlador* (o goberna-

dor) *central* (Noakes, 2001; St. Clair-Gibson, 2001, y Ulmer HV, 1996). Según esta hipótesis, nuestro “controlador central” ubicado en el SNC sería el encargado de disminuir el reclutamiento de unidades motoras (lo cual se manifestaría aparentemente como fatiga) precisamente para evitar que los músculos esqueléticos y el miocardio no sufrieran una fatiga excesiva ni un daño tisular permanente (Noakes, 2001). O dicho de otro modo: nuestro controlador central se encargaría de evitar que nuestros tejidos tuviesen que trabajar demasiado cerca de sus límites fisiológicos.

Este mecanismo autoprotector se conoce como “teleanticipación”: antes de comenzar un ejercicio determinado de alta intensidad, nuestro SNC sabe cuáles son los límites y capacidades de nuestro corazón y músculos y en consecuencia regula la tasa metabólica y el reclutamiento de fibras (St Clair-Gibson, 2001 y Ulmer, 1996). El controlador central no deja que nuestros músculos –y sobre todo, nuestro corazón– se fatiguen de verdad, y los deja descansar antes de llegar al punto de fatiga. Relacionado con este concepto está la hipótesis del *muscle wisdom* o de la “prudencia muscular”: la velocidad de transmisión neuromuscular de las motoneuronas a las fibras motoras inervadas por las mismas disminuye cuando las fibras empiezan a mostrar los primeros signos de fatiga (Gandevia, 2001). Sería este otro mecanismo autoprotector del organismo que evitaría exigir a las fibras musculares esfuerzos inútiles y, sobre todo, perjudiciales para su homeostasis.

Indicadores físicos de la fatiga muscular

El indicador por excelencia de que se está instaurando un estado de fatiga es la reducción del rendimiento o de la capacidad para generar fuerza. Dado que el tipo de actividad que realiza el deportista es de carácter voluntario, la fatiga podría iniciarse tanto en el músculo como a nivel central. Existen diversos procedimientos para determinar el origen central o periférico de la fatiga. El más representativo es el del registro electromiográfico y los tests isocinéticos que registran la fuerza a determinadas velocidades de un grupo muscular determinado. Existen diversos indicadores de la fatiga muscular local:

- Reducción de la fuerza contráctil (fuerza alcanzable y amplitud de la contracción).
- Aumento del tiempo de relajación.
- Manifestaciones electromiográficas (aumentos de voltaje a una determinada intensidad de trabajo o alteraciones en el electromiograma integrado en base a la relación entre voltaje del EMG integrado y duración del ejercicio, reducción de la frecuencia promedio de estimulación, relación entre altas y bajas frecuencias, disminución de la velocidad de conducción del estímulo y aumento del tiempo de respuesta ante un estímulo externo).

Bibliografía

- BAILEY, S. P., DAVIS, J. M. y AHLBORN, E. N., "Serotonergic agonists and antagonists affect endurance performance in the rat". *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, n.º 14, pp. 330-333.
- BORG, G., "Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exercise". *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1990, n.º 16, suplemento 1, pp. 55-58.
- BROOKS, G. A., "Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised?". *Journal of Physiology*, 2001, n.º 1, pp. 536.
- BROOKS, G. A., "Current concepts in lactate exchange". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1991, n.º 23, pp. 895-906.
- DARNLEY, G. M., DUKE, A. M., STEELE, D. S. y MACFARLANE, N. G., "Effects of reactive oxygen species on aspects of excitation-contraction coupling in chemically skinned rabbit diaphragm muscle fibres". *Experimental Physiology*, 2001, n.º 86, pp. 161-168.
- EKBLOM, B. y GOLDBARD, A. N., "The influence of physical training and other factors on the subjective rating of perceived exertion". *Acta Physiologica Scandinavica*, 1971, n.º 83, pp. 399-406.
- FITT, R. H., "Cellular mechanisms of muscle fatigue". *Physiological Review*, 1994, n.º 74, pp. 49-94.
- GANDEVIA, S. C. "Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue". *Physiological Review*, n.º 81, pp. 1726-1789.
- GREEN, H. J., "Manifestations and sites of neuromuscular fatigue". En A. W. Taylor y cols. (ed.), *Biochemistry of exercise VII*. Champaign: Human Kinetics, 1990, pp. 13-35.
- HERHOLZ, K., BUSKIES W. y RIST, M., "Regional cerebral blood flow in man at rest and during exercise". *Journal of Neurology*, 1987, n.º 234, pp. 9-13.
- JEUKENDRUP, A. E., "Carbohydrate intake during exercise and performance". *Nutrition*, 2004, n.º 20, pp. 669-77.
- KEMPPAINEN, J., AALTO, S. y FUJIMOTO, T., "High intensity exercise decrease global brain glucose during in humans". *Journal of Physiology*, 2005, n.º 568, pp. 323-32.
- LÄNNERGRÉN, J. y WESTERBLAD, H., "Force and membrane potential during and after fatiguing continuous high-frequency stimulation of single xenopus muscle fibres". *Acta Physiologica Scandinavica*, 1986, n.º 128, pp. 359-368.
- MADSEN, P. L., SPERLING B. K. y WARMING, T., "Middle cerebral artery blood velocity and cerebral blood flow and O₂ uptake during dynamic exercise". *Journal of Applied Physiology*, 1993, n.º 74, pp. 245-250.

- NEWSHOLME, E. A. y BLOMSTRAND, E., "Tryptophan 5-hydroxy-tryptamine and a possible explanation for central fatigue". En GANDEVIA, S. C., ENOKA, R. M. y MCCOMAS, A. J. (editores), *Fatigue: neural and muscular mechanisms-advances in medicine and biology*, vol. 384, ISBN 0-306-45139-5.
- NIELSEN, B., NYBO, L. y BIDSTRUP, F., "Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat". *European Journal of Sports Medicine*, 2003, n.º 33, pp. 1-11.
- NOAKES, T. D., PELTONEN, J. E. y RUSKO, H. K., (2001). "Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia". *Journal of Experimental Biology*, 2001, n.º 204 (Pt. 18), pp. 3225-3234.
- ROBSON-ANSLEY, P. J., DE MILANDER, L. y COLLINS, M., "Acute IL-6 administration impairs athletic performance in healthy trained male runners". *Canadian Journal of Applied Physiology*, 2004, n.º 29, pp. 411-418.
- ST. CLAIR GIBSON, A., BADEN, D. A., LAMBERT, M. I. *et al.*, "The conscious perception of the sensation of fatigue". *Sports Medicine*, 2003, n.º 33, pp. 167-76.
- ST. CLAIR-GIBSON, A., SCHABORT, E. J. y NOAKES, T. D., "Reduced neuromuscular activity and force generation during prolonged cycling". *American Journal of Physiology*, 2001, n.º 281, R187-R196.
- ULMER, H. V., "Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback". *Experientia*, 1996, n.º 52, pp. 416-420.
- WESTERBLAD, H., ALLEN, D. G. y LANNERGREN, J., "Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause?". *News in Physiological Sciences*, 2002, n.º 17, pp. 17-21.

SOBREENTRENAMIENTO Y EJERCICIO EN AMBIENTES EXTREMOS

Luis M. López Mojares
Universidad Europea de Madrid
Ministerio de Defensa

Existen diversas profesiones caracterizadas por desarrollarse en condiciones medioambientales singulares que definen la capacidad de acción en situaciones de fatiga, calor, humedad o privación de sueño, y que requieren de una preparación psicofísica adecuada: militares, policías, bomberos, personal dedicado a tareas de rescate, personal de seguridad... Estas personas, que bien podrían considerarse *deportistas de acción*, requieren un entrenamiento físico y mental especial que les permite acometer su tarea con seguridad y eficacia.

De un modo semejante a la preparación que requiere un deportista de alta competición, estos profesionales que arriesgan su vida en beneficio de la sociedad han de dedicar muchas horas y mucha ilusión al acondicionamiento físico general, requiriendo fuerza, habilidad, agilidad, resistencia, nutrición y descanso reparador. Además, el estar sometidos a un medio ambiente adverso acentúa aún más la necesidad de un entrenamiento especial.

El entrenamiento para el ejercicio en ambientes extremos tiene una larga historia y un tronco común con la enseñanza de la actividad física y el deporte. En realidad, tanto en España como en los otros países, el origen de la enseñanza reglada del ejercicio y posteriormente de la historia de los deportes procede de las Fuerzas Armadas.

En nuestro país, la creación de la Escuela de Gimnasia del Ejército, en 1919 en Toledo, marca un antes y un después en el conocimiento científico de las técnicas del entrenamiento (López Mojares, 1997).

El entrenamiento físico y mental persigue mejorar el rendimiento y preparar al organismo para alcanzar un máximo estado de forma que permita cumplir con las tareas encomendadas, y estas mejoras aparecen como consecuencia de las adaptaciones fisiológicas inducidas por el ejercicio planificado y correctamente administrado, junto con los adecuados períodos de descanso y recuperación (Trone, 1999).

El sobreentrenamiento (SE) puede definirse como un desequilibrio entre el entrenamiento y la recuperación que puede conducir al síndrome de sobre-

entrenamiento, conocido como una situación prolongada de fatiga y reducción del rendimiento físico o psíquico superior a dos semanas que aparece tras un periodo de actividad física de alta intensidad, incapaz de ser asimilado (López Chicharro, 1998).

El entrenamiento físico es el mayor y más severo problema de salud de los deportistas de acción, y su prevención es una de las piezas angulares de la operatividad de las unidades (Jones Usachppm y Canham-Chervak, ambos en 2005). Por ejemplo, en los EE. UU., a instancias del secretario de Defensa Rumsfeld se constituyó en 2003 el Grupo de Trabajo para la Prevención de Lesiones derivadas del Entrenamiento Físico (Joint Services Physical Training Injury Prevention: JSPTIPWD) con 29 investigadores civiles y militares, que a lo largo de los últimos años (2004-2010) ha elaborado un profundo y exhaustivo estudio en el que podemos destacar las 6 claves fundamentales en las que deberían basarse las estrategias de prevención. La prevención del sobreentrenamiento es la que mayor índice de prioridad presenta, el 86,3% (Bullock, 2010).

El orden de prioridad se estableció en relación con la fuerza de la prueba científica que lo respalda, la magnitud del efecto que produce, la aplicación práctica que permite, la oportunidad del efecto, la sostenibilidad y la posibilidad de medida de los efectos producidos directos e indirectos.

Habitualmente, existe una frontera nebulosa en los límites fisiológicos de la capacidad de mejora por el entrenamiento que el deportista de acción, como el deportista de competición de élite, ha de rozar para obtener las máximas adaptaciones y evitar la lesión o el SE. El éxito de la misión dependerá por tanto, de una manera decisiva, de la adecuada aplicación del conocimiento científico en la valoración funcional y en la prescripción del ejercicio.

Además, la vulnerabilidad de los atletas a las mismas cargas de entrenamiento es sumamente variable, ya que se ha observado una gran diferencia interindividual en factores como la capacidad de recuperación, la capacidad de generar fuerza o resistencia o la tolerancia a la sobrecarga física y psicológica (Bouchard y Pescatello, ambos en 2011).

Naturalmente, a medida que se va adquiriendo experiencia de entrenamiento los periodos de recuperación pueden acortarse, pero el riesgo se mantiene y los profesionales que se ocupan de la supervisión de este han de estar siempre alerta para detectar los problemas de manera precoz.

He aquí las reglas básicas en el entrenamiento para ambientes extremos (EAE):

- Especificidad: La adaptación fisiológica refleja las características del entrenamiento aplicado.

- Sobrecarga: La adaptación depende de aplicar una sobrecarga adecuada para inducir adaptaciones capaces de ser asimiladas por el organismo.
- Progresión: La adaptación aparece cuando el incremento de la carga de entrenamiento se realiza de forma progresiva.
- Enlentecimiento en la mejora: Las características genéticas pueden ser limitantes de la progresión en el rendimiento cuando el deportista se aproxima a su máximo.
- Diferencias en la progresión: La genética influye decisivamente en la respuesta fisiológica al entrenamiento y en el ritmo de mejora.
- Reversibilidad: Las adaptaciones fisiológicas por el entrenamiento pueden revertirse cuando se reduce el volumen de entrenamiento.
- Atención a retrocesos en el rendimiento, que pueden señalar SE.

El ejercicio es la actividad física planeada, estructurada y repetida cuyo objetivo es mejorar o mantener uno o más componentes de la condición física (López Mojares, 2002). La base fundamental de las adaptaciones fisiológicas producidas por el ejercicio es la sobrecarga, que produce una modificación de homeostasis del organismo que se traduce en un fenómeno de fatiga aguda que a su vez induce mejorías en el funcionamiento muscular, cardiovascular, respiratorio, etcétera, denominado supercompensación.

Paradójicamente, cuando el entrenamiento se prolonga o aumenta de intensidad excesivamente, se le añaden otros elementos de sobrecarga adicionales o se reducen los periodos de recuperación, la respuesta fisiológica puede mermar el rendimiento físico o psicológico, reflejando maladaptación, que puede conducir al síndrome de sobreentrenamiento. Se emplea el término síndrome para resaltar la etiología multifactorial, que indica que, además del desequilibrio entre carga de entrenamiento y recuperación, suelen intervenir otros elementos adicionales como factores psicológicos, nutricionales, sociales, etcétera.

Como apuntábamos anteriormente, a menudo los entrenadores deciden incrementar la carga de entrenamiento o reducir las fases de recuperación con objeto de aumentar aún más el rendimiento. La consecuencia de esa sesión o sesiones intensivas es la aparición de fatiga y la aparente pérdida de eficiencia, que si se equilibra con el adecuado reposo puede conducir a la esperada fase de supercompensación.

Al revisar la literatura, se puede observar una notable variedad de ideas a la hora de definir sobreentrenamiento. Numerosos autores consideran que existe un amplio espectro de diferencias cuantitativas que van desde la sobrecarga ordinaria (*overload*, SC), a través del sobreesfuerzo (*overreaching*, OR), hasta llegar al síndrome de sobreentrenamiento (*overtraining syndrome*, OTS).

Con objeto de simplificarlo, el Colegio Europeo de Ciencias del Deporte publicó en 2006 (Meeussen, 2006) una declaración consensuada sobre su definición,

en la que plantea que la diferencia entre OTS y OR consiste en la cantidad de tiempo necesaria para restaurar el rendimiento físico, definiendo sobre esfuerzo (*overreaching*) (OR) cuando es preciso menos de dos semanas para lograrlo. En este caso, parece que el episodio podría considerarse como parte de un programa de entrenamiento normal y sin riesgo. Sin embargo, cuando se trata de OTS, la recuperación puede ser de meses o incluso de años.

Para establecer un límite entre el comportamiento fisiológico y el patológico se puede establecer una diferencia entre el sobre esfuerzo funcional (funcional *overreaching*, FOR), caracterizado porque después de la fase de intensificación del entrenamiento sin trastornos severos aparece un fenómeno de supercompensación. En cambio, si se producen trastornos más notables, nos encontraríamos ante un sobre esfuerzo extremo disfuncional (non-functional *overreaching*, NFOR). El límite entre ambos lo establece el hecho de que no solo la recuperación requiere más tiempo, sino que por otro lado ese periodo de reposo, demasiado prolongado, puede favorecer un desacondicionamiento mayor (Nederhof, 2006). Además, es preciso señalar que a las diferencias cuantitativas hay que añadir ciertos matices cualitativos, principalmente signos y síntomas derivados de alteraciones psicológicas y endocrinas, lo que estaría en consonancia con las ideas clásicas del OTS simpático o precoz y parasimpático o tardío, con diferencias en las cifras de catecolaminas en plasma basales y postejercicio (Lehmann, 1998). La figura 4 resume las diferencias de grado entre las diferentes variantes del trastorno citado.

	Entrenamiento ordinario: sobrecarga	Entrenamiento intensivo →		
RESULTADO	Fatiga aguda	Sobre esfuerzo funcional (FOR)	Sobre esfuerzo extremo (NFOR)	OTS
RECUPERACIÓN	Días	Días, – semanas	Semanas, – meses	Meses...
RENDIMIENTO	↑	↓ → ↑	(↓=)	↓↓

Figura 4: Espectro desde la sobrecarga hasta el síndrome de sobreentrenamiento.

Diagnóstico

El OTS es una combinación de factores físico y psicopatológicos causados por un excesivo entrenamiento o una insuficiente recuperación que se traducen en una reducción de la condición física. Además, aparecen síntomas como el insomnio, alteraciones en el apetito, irritabilidad, pérdida de peso, falta de motivación, etcétera. Estos síntomas son variables. Algunos autores han sugerido

que resultan más frecuentes los simpáticos (insomnio, irritabilidad, etcétera) en los entrenados predominantemente en fuerza o ejercicios anaeróbicos y los parasimpáticos (depresión, apatía...) en los sobreentrenados en resistencia (Meeussen, 2010).

Salvo algunas pruebas específicas que pueden establecer matizaciones (Meeussen, 2010), existen escasas herramientas definitivas en el diagnóstico de OTS, aunque resulta indispensable descartar previamente otras enfermedades que pudiesen justificar las alteraciones:

1. Anemia.
2. Déficits nutricionales.
 - a. Micronutrientes.
 - i. Fe.
 - ii. Mg.
 - b. Macronutrientes.
 - i. Restricción calórica.
 - ii. Insuficiencia de
 1. Hidratos de carbono.
 2. Proteínas.
3. Infecciones virales.
4. Enfermedades musculares.
5. Enfermedades endocrinas.
 - a. Tiroideas.
 - b. Pancreáticas.
 - c. Suprarrenales.
6. Trastornos alimentarios.
 - a. Anorexia.
 - b. Bulimia.
7. Enfermedades psiquiátricas: depresión.
8. Enfermedades cardiovasculares.
9. Enfermedades respiratorias.

Además de las pruebas médicas ordinarias, existen algunas específicas que podrían aportar información relevante sobre el caso:

- Perfil de los estados de ánimo (*profile of moods states*, POMS): se trata de un instrumento que permite detectar cambios en el estado de ánimo secundarios

a elementos estresantes, ofreciendo una puntuación sobre seis subescalas: tensión-ansiedad, depresión-melancolía, cólera-hostilidad, vigor-actividad, fatiga-inercia (dificultad para iniciar el movimiento) y confusión-desorientación (Andrade, 2000).

- Ficha de control del entrenamiento: escala de respuesta al entrenamiento (Usuhs, 2009), figura 5.
- Ergometría.

FICHA de CONTROL del ENTRENAMIENTO					
Conteste a las preguntas en relación con la manera en la que se ha encontrado la pasada semana, incluyendo el día de hoy. Introduzca el número de cada pregunta que mejor lo explique, en la columna de puntuaciones. Si su puntuación es superior a 14 en 3 días o más debe plantearse una limitación en su volumen de entrenamiento y mejorar el descanso nocturno, SI ES POSIBLE.					
	NADA	UN POCO	ALGO	BASTANTE	MUCHO
SIMPÁTICO	0	1	2	3	4
INÚTIL	0	1	2	3	4
MUY TRISTE	0	1	2	3	4
DISPUESTO A AYUDAR	0	1	2	3	4
MALHUMORADO	0	1	2	3	4
CULPABLE	0	1	2	3	4
INDIGNO	0	1	2	3	4
SUSCEPTIBLE	0	1	2	3	4
ALEGRE	0	1	2	3	4
TRISTE	0	1	2	3	4

Figura 5: Modelo de ficha de control del entrenamiento (en el programa de cálculo sólo puntúan los epígrafes en rojo).

Por nuestra parte, proponemos la ficha de evaluación de la respuesta al entrenamiento (FERE) que se ofrece en la figura 6.

Desafortunadamente, no existen todavía herramientas diagnósticas, por lo que la valoración funcional fisiológica y psicológica adquiere una importancia trascendental, y es el criterio del médico quien debe decidirlo. Los trastornos pueden reflejar alteraciones bioquímicas, neuroendocrinas, inflamatorias o inmunológicas subyacentes (Halsón, 2004, y Armstrong, 2002).



FICHA de EVALUACIÓN de la RESPUESTA al ENTRENAMIENTO

Nombre: _____

Fecha: _____

¿Cómo se siente hoy?

Muy, muy bien Muy bien Bien Normal Mal Muy mal Muy, muy mal

¿Cuántas horas ha dormido esta noche? _____

¿Cuántas horas suele dormir? _____

¿Se ha encontrado enfermo la pasada semana? _____

¿Cómo fue el ejercicio de ayer?

Muy, muy fácil Muy fácil Fácil Normal Duro Muy duro Muy, muy duro

¿Cómo se encuentran sus músculos? (califiquelo con un número según la escala)

Muy, muy bien Muy bien Bien Tensos sin dolor Doloridos Muy doloridos Muy, muy doloridos

Brazos _____

Piernas _____

General _____

Para aplicar en TABLA EXCEL	NADA	POCO	ALGO	BASTANTE	MUCHO
SIMPATICO	0	1	2	3	4
INUTIL	0	1	2	3	4
MUY TRISTE	0	1	2	3	4
DISPUESTO A AYUDAR	0	1	2	3	4
MALHUMORADO	0	1	2	3	4
CULPABLE	0	1	2	3	4
INDIGNO	0	1	2	3	4
SUSCEPTIBLE	0	1	2	3	4
ALEGRE	0	1	2	3	4
TRISTE	0	1	2	3	4

Figura 6: Ficha de evaluación de la respuesta al entrenamiento (FERE)

Realmente, el OTS representa la suma de múltiples factores de estrés:

- Entrenamiento.
- Ambientes extremos.
- Deprivación de sueño.
- Calor.
- Frío.
- Altura.
- Humedad.
- Factores sociales.
- Factores personales.

De igual modo, se han descrito una gran cantidad de hipótesis etiopatogénicas difícilmente demostrables por la naturaleza del problema y las dificultades éticas y metodológicas para el diseño de modelos que puedan demostrarlo. La sobrecarga del entrenamiento actúa sobre los sistemas neuroendocrinos, especialmente sobre el eje hipotalámico-hipofisario y sobre el sistema nervioso autónomo. También se han apuntado alteraciones en las catecolaminas, glucocorticoides o testosterona. Otros estudios señalan posibles justificaciones con respecto a los niveles de ciertos aminoácidos como la glutamina, cuya deficiencia podría alterar la respuesta inmunológica, o el triptófano que al aumentar su liberación de las proteínas de transporte podría penetrar en las células encefálicas, por pérdida de las reservas de glucógeno; estrés oxidativo; desequilibrios psicológicos, o trastornos en el sistema inmunológico por ambientes extremos como la altura, frío, calor, humedad, etc.

Desde hace mucho tiempo se han planteado hipótesis sobre la responsabilidad de una disfunción neuroendocrina en la patogénesis del OTS, y sobre que las determinaciones hormonales pudiesen ayudarnos a explicar el trastorno.

Nuestro grupo, por ejemplo, analizó la utilización del cociente cortisol/testosterona como herramienta de apoyo al diagnóstico de OVT, que aportaba conclusiones alentadoras (López Chicharro, 1998). El cociente testosterona libre/cortisol (FTCR) disminuye en relación con el incremento de la intensidad y la duración de las sesiones de ejercicio, indicando por tanto la sobrecarga recibida. Esto sobre la base de que se podría suponer que el OTS podría encontrarse en individuos entrenados con al menos uno de los siguientes requisitos: 1) $FTCR < 0,000035 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}/\text{mcmol}\cdot\text{L}^{-1}$ o 2) reducción del $FTCR > 30\%$ (Adlercreutz, 1986). Analizando un grupo de operaciones especiales del Ejército de Tierra de España durante el período de instrucción básico, observamos una alta incidencia (23,8 %) de este trastorno.

Tras un buen número de experimentos, el Colegio Europeo de Ciencias del Deporte, en su documento de consenso de 2006 (Meeussen, 2006), recomienda que los marcadores de OTS, para que sean fiables, deberían:

- Ser objetivos y sensibles a la carga del entrenamiento.
- Ser insensibles a otros factores como la dieta.
- Experimentar variaciones precozmente.
- Poder diferenciarse los cambios secundarios a la respuesta aguda del ejercicio frente a las adaptaciones crónicas.
- Ser fáciles de medir.
- Ser baratos.

Según estos criterios, los marcadores hormonales proporcionan una valiosísima información sobre la evolución del sujeto sometido a entrenamiento, aunque no puedan considerarse como dato diagnóstico definitivo.

Como ya hemos señalado, en esta amplia variedad que va desde la sobrecarga ordinaria al OTS, existen otras manifestaciones hormonales dignas de señalar. Por ejemplo, la adaptación fisiológica del eje hipotálamo-hipófisis-corteza suprarrenal al entrenamiento se caracteriza por un aumento del cociente ACTH/cortisol solo durante la recuperación, debido a la menor sensibilidad de la hipófisis al cortisol y por la modulación de la sensibilidad de los tejidos a este (Duclos, 2003).

Por último, la diferencia entre NFOR y OTS, que hasta hace mucho tiempo se atribuía a una diferencia cuantitativa, podría establecerse mediante pruebas de esfuerzo máximas repetidas tras un pequeño periodo de tiempo al encontrarse diferencias significativas entre la respuesta positiva de la adrenocorticotropina (ACTH) y prolactina en los primeros y la ausencia de respuesta en los segundos (Meeussen, 2010) después de la segunda prueba. En la figura 7 se puede observar cómo existe una notable elevación de las cifras de ACTH y prolactina en los individuos que se diagnosticaron a posteriori como NFOR, tras la ejecución de dos ejercicios de intensidad máxima realizados sobre cicloergómetro y sobre tapiz rodante según las características de los sujetos, observándose que no aparecía en el caso de los pacientes que sufrían OTS. El criterio diagnóstico fue establecido después del ensayo en base a si los sujetos tardaban más o menos de un año para recuperarse. Los autores lo atribuyen a una posible modificación en los receptores glucocorticoideos y a una modificación en la respuesta de la hormona hipotalámica liberadora de la corticotropina (CRH).

Cuando el sujeto se encuentra en la fase FOR, se aprecia una respuesta neuroendocrina (ACTH, prolactina y GH) atenuada a una segunda sesión de ejercicio máximo (Meeusen, 2004), mientras que si se encuentra en la fase NFOR, se obtiene una hiperrespuesta tras esta segunda sesión (Meeusen, 2004). Con ese mismo protocolo, los autores consideran que se puede diferenciar entre

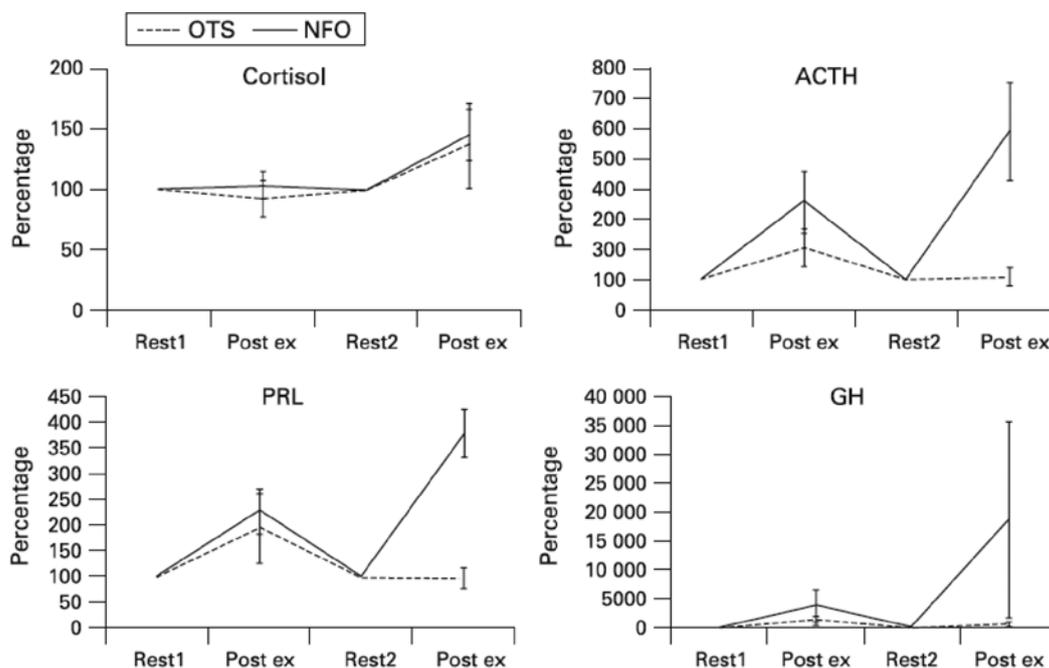


Figura 7: Respuesta intensa de ACTH y PRL en NFOR (NFO) tras el 2.º ejercicio máximo y ausencia de esta en OTS (Modificado de Meeusen, 2010).

NFOR y OTS: los sujetos con OTS tienen una respuesta muy elevada tras el primer ejercicio máximo, seguido de una notable depresión tras el segundo. Este fenómeno se atribuye a una hipersensibilidad de la adenohipófisis seguida por un agotamiento de esta.

Todos estos trastornos pueden recuperarse finalmente después de un mayor o menor periodo de reposo.

También se ha observado un menor crecimiento de las cifras de las hormonas de la adenohipófisis (ACTH, GH, LH y FSH) en respuesta al estímulo estresante en sujetos con OTS (Urhausen, 1998).

Actualmente, se discute la utilización de hormonas periféricas como alternativa en el apoyo a la valoración del OR/OTS. Las señales del tejido adiposo procedentes de la leptina (Simsh, 2002), insulina, IL-6 e IGF-I disminuyen con el catabolismo provocado por el entrenamiento (Steinacker, 2004).

Las determinaciones hormonales presentan algunos problemas metodológicos:

- Factores que pueden afectar a la concentración hormonal, como las circunstancias de recogida de la muestra, conservación o variabilidad intra e inter análisis.

- Interferencias con alimentos, especialmente con respecto al cortisol o la testosterona.
- Oscilaciones como consecuencia del ejercicio, como en el cortisol o en la GH, o del ciclo menstrual en las mujeres.
- Oscilaciones circadianas.
- Pobre reproductibilidad y fiabilidad.
- Necesidad de contra con cifras basales para comparar.

Otro grupo de marcadores van dirigidos a valorar objetivamente la condición física, que en definitiva es el elemento principal del diagnóstico. Los sujetos que sufren OTS suelen ser capaces de iniciar adecuadamente la sesión de entrenamiento a su ritmo ordinario, pero resultan incapaces de mantenerlo hasta la conclusión. En general, parece que las pruebas donde el parámetro valorado es el tiempo en que se presenta la fatiga son las que ofrecen unos resultados más útiles y mayores cambios a la hora de diferenciar entre OR y OTS (Halsón, 2004). Naturalmente, serán tanto más eficaces como mejor se ajusten al tipo de ejercicio principal.

Las pruebas de valoración de la condición física están también limitadas por algunos asuntos como: dificultad para disponer de valores basales, lo que compromete la precisión para medir la limitación del rendimiento; el hecho de que deberían ejecutarse con intensidad suficiente (muy próxima al máximo) para detectar diferencias y de que deberían tener buena reproductibilidad; la necesidad de estandarización de protocolos, con objeto de poder comparar; la especificidad de la prueba, y la dificultad para programar pruebas máximas que no interfieran con la actividad principal del sujeto.

Algunas variables fisiológicas, como la reducción de la frecuencia cardiaca máxima, podría ser el resultado de una actividad atenuada del sistema nervioso autónomo (SNA) simpático, menor capacidad de respuesta de las catecolaminas o de cambios en la actividad de los receptores adrenérgicos, o bien simplemente el resultado de una menor potencia durante un esfuerzo de carácter máximo.

El aumento de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV), que se ha utilizado para estimar el efecto del SNA sobre el corazón, podría significar un predominio del parasimpático frente al simpático (Uusitalo, 2000). Sin embargo, hasta la fecha los resultados son contradictorios y requieren estudios más amplios y más rigurosos (Halsón, 2005).

Cuando el entrenamiento se alarga, los depósitos de glucógeno pueden llegar cerca del agotamiento, y la glucogenolisis y el transporte de glucosa se regulan a la baja tanto en el músculo como en el hígado, igual que la producción hepática de IGF-I, inducidos por la situación catabólica. Aunque esto es característico del OTS, cuando se valoran los sujetos se suelen encontrar normales los depósitos

de glucógeno y las cifras de glucemia (Lehmann, 1999). El cociente glucemia/insulina puede indicar una ligera resistencia a la insulina (Steinacker, 2004).

Las cifras de lactato máximas pueden estar reducidas en el OTS, aunque los valores submáximos no suelen alterarse. Estos cambios aparecen en individuos entrenados en resistencia, pero no en los especializados en fuerza.

Las cifras analíticas basales de creatínquinasa (CK) y urea pueden reflejar la sobrecarga metabólica muscular, aunque no permiten diferenciar entre OR y OTS (Urhausen, 1998).

La determinación de glutamina también se ha utilizado como herramienta de valoración del exceso de carga de entrenamiento, ya que suele reducirse con el entrenamiento intenso, pero no parece existir un acuerdo entre los resultados obtenidos, ya que no se ha comprobado suficientemente la disminución de esta en OT (Walsh 1998).

Como ya apuntábamos, aunque la mayor parte de los resultados analíticos (hemograma, proteína C reactiva, CK, urea, creatinina, enzimas hepáticas, glucosa, ferritina, Na⁺, K⁺...) no son capaces de diagnosticar OR o OTS, resultan de enorme ayuda a la hora de aportar información sobre el estado real del sujeto, siendo por tanto esenciales para el diagnóstico por exclusión.

Hay numerosa información que relaciona el incremento del volumen de entrenamiento con la aparición de infecciones respiratorias de vías altas (URTI), lo que ha hecho suponer que en esas fases podría aparecer una cierta depresión del sistema defensivo y que esas URTI pudiesen actuar también como factores precipitantes del OTS, como prueban importantes estudios con militares (Carins, 2002, y Tiollier, 2005). Esas fases suelen deprimir las funciones inmunes celulares aunque apenas se modifique el número de las células circulantes. No obstante, en estos casos es muy frecuente que al aumento del volumen de entrenamiento se le añadan deficiencias dietéticas, deprivación de sueño y otros factores psicológicos que dificultan el diseño de los experimentos, limitando las conclusiones. También hay que considerar que a menudo los síntomas del OTS pueden solaparse con los de una URTI no resuelta. Además, estas modificaciones no permiten diferenciar entre sujetos con FOR fisiológica de los que se encuentran en NFOR o OTS.

Para valorar el cambio en los estados de ánimo, el POMS puede resultar de utilidad (Andrade 2000) al valorar cómo se ha sentido durante la última semana. También proponemos la ficha de control semanal del entrenamiento, en las figuras 5 y 6 (pp. 30-31), que puede ser empleada a diario y que se trata de una adaptación del POMS. Resulta de interés hacer un seguimiento prospectivo de cada individuo que analice el nivel de sobrecarga y la recuperación. La principal ventaja de las pruebas psicométricas estriba en la inmediata dis-

ponibilidad de la información, ya que estas deficiencias psicológicas suelen estar relacionadas en el tiempo con los cambios fisiológicos y de rendimiento antes descritos, habitualmente precursores de los cambios neuroendocrinos.

Los inconvenientes de las pruebas de valoración del estado de ánimo se centran en la posible interferencia de otros aspectos psicológicos como la capacidad de atención o la ansiedad que pueden modificar artificialmente los resultados; la necesidad de comparar con medidas basales; que la falta de resultados positivos en el rendimiento es un elemento que puede influir decisivamente en un estado depresivo; diferencias entre la propia valoración frente a la de un psicólogo experimentado; la evolución en el tiempo del estado de ánimo a lo largo del día, que requiere estandarizar las condiciones, y el escepticismo de algunos entrenadores con respecto a esta información.

Prevalencia

La existencia de un amplio espectro de estos trastornos y las pequeñas diferencias de matiz entre los distintos estadios dificultan notablemente definir la prevalencia. Existen estudios que indican que las dos terceras partes de los atletas de fondo lo sufren alguna vez, y quizá algo menos entre los nadadores (Hooper, 1997, y Koutedakis, 1998).

Prevención

Ya que el límite entre OR y OTS se establece a tenor del desequilibrio entre el volumen de entrenamiento y recuperación, resulta indispensable llevar un registro riguroso de la programación de cada individuo.

Siguiendo con las recomendaciones de JSPTIPWG (Bullock, 2010), hay cuatro elementos fundamentales para la prevención:

- Formación específica de los cuadros de mando (Knapik, 2004).
- Apoyo al mando.
- Vigilancia de la bajas.
- Recursos para investigación y evaluación de programas (López, 2002).

También se identificaron 23 estrategias de prevención que se consideraron con insuficientes pruebas científicas como para ser recomendadas, aunque sí se pueden considerar como objetivos de investigación científica.

Estrategias con insuficientes pruebas científicas

- Estiramiento muscular antes y después del ejercicio.
- Reiniciar los ejercicios de entrenamiento a una intensidad menor en sujetos que han sufrido desentrenamiento.

- Músculos específicos clave prioritarios para ser entrenados.
- Reposición de zapatillas en periodos de tiempo estandarizados.
- Calentamiento y vuelta a la calma antes y después de la actividad.
- Situar individuos más bajos en el frente de los grupos para correr para marcar el ritmo de carrera.
- Modificar la zancada.
- Programas de marchas progresivas estandarizadas.
- Aumentar gradualmente la carga transportada durante las marchas.
- Evitar ejercicios peligrosos sobre máquinas de gimnasio: abdominales, etc.
- Considerar el peso corporal con respecto a las pruebas máximas de valoración de la condición física.
- Utilizar accesorios antigolpe.
- Recomendar calzado deportivo individualizado.
- Vendar los tobillos con esparadrapo antes de ejercicio de alto riesgo.
- Correr sobre superficies que minimizan el riesgo de lesión.
- Mejorar el suelo de los recorridos de obstáculos.
- Ajustar la carga del entrenamiento a las variaciones estacionales.
- Favorecer el dejar de fumar como estrategia indirecta de prevención de lesiones.
- Enseñar técnicas para levantar cargas que minimicen el riesgo.
- Aplicar hielo sobre las lesiones con objeto de evitar la repetición de la lesión.
- Contraceptivos orales.
- Estandarizar la rehabilitación poslesional.
- Predecir el riesgo de lesión mediante un modelo.

Como habíamos apuntado anteriormente, el JSPTIPWG identificó seis *estrategias prioritarias de prevención de lesiones*, que son, por orden de importancia:

1. Prevención del sobreentrenamiento.
2. Realización de ejercicios de mejora de agilidad, propiocepción, actividad neuromuscular multiaxiales.
3. Emplear protectores bucales durante actividades de alto riesgo.
4. Utilizar protectores de tobillo semirígidos durante actividades de alto riesgo.
5. Consumir una dieta adecuada para restaurar el equilibrio energético durante la primera hora siguiente a la actividad de alta intensidad.
6. Utilizar calcetines de tejido sintético para evitar ampollas.

1. Prevención del sobreentrenamiento.

Hay una abundante fuente de información que indica que el elevado volumen de entrenamiento de trote aumenta significativamente las lesiones de los miembros inferiores (Bennel, 1999; Deuster, 1997; Koplan, 1995; Jones, 1999; Kauffman, 2000; Hreljac, 2004; Jones, 1993 y 1994, y Sherrard, 2004).

Se calcula que durante el período de instrucción básico, uno de cada cuatro varones y una de cada dos mujeres sufren lesiones y bajas derivados del entrenamiento físico. Más de los dos tercios aparecen en los miembros inferiores. Presumiblemente, son producto de una significativa desproporción entre la carga de entrenamiento y la capacidad de asimilación de este.

Un estudio clásico de Shaffer (1996), realizado sobre un grupo de infantes de Marina norteamericanos, señala que la reducción de un 40% en la distancia de carrera produce una disminución del 54% en fracturas de estrés con un aumento no significativo en el tiempo de ejecución (3%) y, por tanto, en la condición física aeróbica.

En otro estudio elaborado en el Ejército de Tierra (Jones, 1994) se comprobó que el grupo que recorría menos distancia corriendo y más caminando (120 km menos a lo largo de las 12 semanas del período de instrucción básico), reducía el índice de lesiones un 24%, manteniendo la capacidad aeróbica. No obstante, hemos de aclarar que a medida que se reducía la distancia corriendo se aumentaba la distancia recorrida caminando (el grupo que corría más marchaba 110 km, mientras que el que corría menos, marchaba unos 190 km).

En otro trabajo, realizado también a lo largo del período de instrucción básico, de nueve semanas de duración en un batallón del Ejército de Tierra, observaron que reducían un tercio del índice de lesiones con mejoras parecidas en el test de campo (tiempo empleado para cubrir 3,2 km) de valoración aeróbica en el grupo que recorrió trotando unos 27 km, junto con el resto de entrenamiento interválico correspondiente, en comparación con otro batallón que corrió en total unos 61 km (Knapik, 2003).

Con resultados parecidos, se evaluó a un grupo de reclutas de marinería durante el período de instrucción básico, a quien también se le disminuyó la distancia recorrida trotando en unos 32 km, consiguiéndose una disminución de las lesiones de un 20% sin modificación significativa de la capacidad aeróbica (Trank, 2001).

El Ejército de Tierra australiano arroja datos semejantes cuando se sustituyen sesiones de trote por sesiones de marcha con carga en la mochila (Rudzki 1997), con una reducción en todas las lesiones de los miembros inferiores del 43% y una reducción del 53% en las específicas de rodilla. Además, en otro estudio posterior (Pope, 1999) encuentra que la reducción de los kilómetros recorridos corriendo puede disminuir de modo significativo las fracturas de estrés en un 91%.

El Mando de Doctrina e Instrucción del Ejército de Tierra norteamericano tomó la decisión en 2004 de reducir la distancia recorrida corriendo, aumentando

otra serie de ejercicios, con lo que consiguió una reducción del 21% de bajas con respecto al programa anterior (Knapik, 2004).

Aunque el entrenamiento de carrera es un excelente ejercicio para mejorar la condición aeróbica y la actividad cardiovascular, se ha encontrado un cierto umbral de sobrecarga, por encima del cual las mejoras en la condición aeróbica (VO_2 max) son relativamente ligeras y sin embargo el riesgo de sufrir lesiones por exceso de entrenamiento se incrementa significativamente. Ya los estudios clásicos de Pollock (1977) apuntaban en esta dirección al describir que si se comparan sesiones de entrenamiento de carrera-trote de 45 frente a 30 minutos de duración, tres veces a la semana, las bajas aumentan un 125% sin apenas cambio en VO_2 max, el mejor biomarcador de condición física aeróbica. De igual modo, si las sesiones se repiten cinco veces a la semana frente a tres, durante 30 minutos, el índice de lesiones aumenta un 225% sin cambios en VO_2 max.

Tras pasar este umbral de sobreentrenamiento, en la mayor parte de las veces difícil de definir, es un riesgo notable que han de valorar los responsables del entrenamiento (ACSM, 1998). Naturalmente, existe una enorme variabilidad entre individuos, entre unidades y entre tareas a realizar (Hootman, 2002, y Nelson, 2007).

Las mejoras en la función cardiorespiratoria requieren entrenamiento aeróbico a una intensidad de entre el 55% y el 90% de la frecuencia cardíaca máxima. Según esto, el margen inferior sería el más apropiado para individuos poco entrenados, permitiendo el entrenamiento en el extremo superior a los más acostumbrados a soportar cargas altas de entrenamiento.

Existen numerosas alternativas complementarias al entrenamiento de carrera, con resultados semejantes y menor tasa de bajas: marchas con o sin carga, subir escaleras (mucho mejor que bajarlas), nadar, pedalear, ejercicio con máquinas elípticas, saltar a la comba, bailar, entrenamiento interválico, etcétera.

La combinación de la preparación física ordinaria con la instrucción específica para cada tarea de los deportistas de acción (militares, bomberos, policías, personal de rescate, buzos, paracaidistas, montañeros...) ha de aproximarse en muchas ocasiones a ese umbral de sobreentrenamiento para conseguir la preparación adecuada a su tarea, aumentando el riesgo de aparición de este (Fry, 1992).

Como apuntábamos al principio, los medios principales para identificar el umbral de sobreentrenamiento en el que se disparan las cifras de bajas se centran en la observación de un menor nivel de rendimiento físico ante un aumento de la carga de entrenamiento (Wilmore, 2004).

La investigación científica sobre el entrenamiento para ambientes extremos indica que la introducción progresiva de la distancia recorrida en el entrenamiento de carrera reduce decisivamente el número de bajas en las unidades operativas (Knapik, 2003 y 2004; Pope, 1999; Rice, 2002, y Rudzki, 1997 y 1999).

Se han publicado varias revisiones científicas que concluyen que la adecuada asimilación del incremento de la distancia recorrida y la velocidad de carrera durante el entrenamiento dependen de manera significativa de la progresión adaptada a cada individuo (Almeida, 1997, Jones, 2002 y Yeung, 2001). Este tipo de programas adquiere una importancia decisiva en personal destinado a unidades o tareas más exigentes de las que desempeñaba hasta ese momento, o en aquel que se reincorpora al servicio tras una lesión.

Con objeto de poder adecuar el entrenamiento a cada caso, resulta indispensable contar con datos objetivos sobre la condición física de los individuos, así como con un control periódico que permita comparar los resultados con datos objetivos (Knapik, 2003). Un procedimiento que resulta muy práctico consiste en entrenar a los componentes de la unidad por módulos de tiempo, en lugar de emplear la distancia: así los más acondicionados asumirán una mayor carga de trabajo acorde con sus posibilidades.

Los datos de la investigación indican que los sujetos menos entrenados tienen una probabilidad entre dos y tres veces superior a los más adaptados para sufrir lesiones por sobrecarga, en especial entre los miembros más noveles (Knapik, 1992, 2003 y 2004). Por tanto, es nuestra obligación como responsables de la prevención de lesiones por sobreentrenamiento advertir del peligro de incrementar indiscriminadamente la carga de trabajo físico o mental, o bien de utilizar el ejercicio físico desproporcionado como medio correctivo, disciplinario o con objeto de motivación negativa, especialmente entre los deportistas de acción menos adaptados o que se reincorporan al servicio activo tras una baja.

El entrenamiento interválico, seguramente, es la gran alternativa al ejercicio continuo, aplicado a la mejora de la condición aeróbica con el menor riesgo de incidencias (McArdle, 1994); en la literatura militar existen numerosas pruebas de su enorme eficacia (Knapik, 2003 y 2004; Almeida, 1997; Trone, 1999, y USNIPWG, 2000). Este tipo de entrenamiento consiste en numerosos aumentos de intensidad del ejercicio breves, por ejemplo de 10 segundos de duración, seguidos de fases de recuperación, de unos 30 segundos, caminando o trotando lentamente, que podemos ir aumentando (10:30 - 15:45 - 20:60, etcétera) en función de la progresión de nuestros deportistas de acción. Puede realizarse individual o colectivamente (Knapik, 2003).

Todas las estructuras del aparato locomotor requieren tiempos de recuperación para poder asimilar el entrenamiento. Es precisamente durante estas fases de recuperación cuando aparece la supercompensación que citábamos al principio. La periodización del entrenamiento es una herramienta indispensable para optimizar los resultados reduciendo el riesgo al mínimo (Fry, 1992) y permite también evitar las molestas agujetas (Szymanski, 2001).

2. Realización de ejercicios de mejora de agilidad, propiocepción, actividad neuromuscular multiaxiales.

La experiencia militar en ejercicios dirigidos a desarrollar la estabilidad del eje central del tronco, agilidad y habilidad en movimientos multiaxiales, planos inestables de equilibrio, ha demostrado una reducción de lesiones de entre el 20% y el 30% (Knapik, 2003 y 2004; Almeida, 1997, y Trone, 1999).

Además de esto, cuando se introduce en el entrenamiento militar aprendizaje neurofisiológico con movimientos suaves y bien controlados también podemos reducir el riesgo de lesiones, ya que ayuda a distribuir las cargas de manera más uniforme. También los ejercicios dirigidos a fortalecer el eje central del tronco favorecen la eficiencia biomecánica de la mayor parte de los ejercicios realizados durante la actividad profesional. Existen varios estudios profundos que respaldan la importancia de la incorporación de estas actividades en el entrenamiento de deportistas de acción (Thacker, 1999; Verhagen, 2000; Griffin, 2006; Thacker, 2002 y 2003, y Yeung, 2001).

3. Emplear protectores bucales durante actividades de alto riesgo.

En algunas actividades militares, como la esgrima de fusil, se ha observado una indudable ventaja el empleo de estos protectores (de la Cruz, 2008, y Knapik, 2007).

4. Utilizar protectores de tobillo semirígidos durante actividades de alto riesgo.

De probada eficacia entre paracaidistas (Amoroso, 1998; Mann, 2002; Schmidt, 2005, y Schumacher, 2000). Se han llevado a cabo varios metaanálisis que indican que el empleo de estos accesorios puede evitar el esguince de tobillo en un 53% (Thacker, 1999, y Beynnon, 2002). Se calcula que durante las operaciones de unidades aerotransportadas entre un 30% y un 60% de las lesiones se producen en los tobillos (Amoroso, 1998), y que la lesión aparece en 0,6‰ saltos cuando se llevan protectores externos y en 3,8‰ cuando no se llevan. En otro ensayo longitudinal, a lo largo de 36 meses, se observaron tres veces más lesiones de tobillo cuando no se utilizaban protectores (Schumacher, 2000).

5. Consumir una dieta adecuada para restaurar el equilibrio energético durante la primera hora siguiente a la actividad de alta intensidad.

Como ya hemos planteado anteriormente, existe una relación entre el agotamiento de las reservas de glucógeno y los marcadores de daño muscular, fatiga y dolor muscular (Hawley, 2006; Umeda, 2004; Zawadzki, 1992, y Kerksick, 2008); además, puede favorecer la aparición de fracturas, especialmente en mujeres (Armstrong, 2004). Las fracturas de estrés están relacionadas asimismo con deficiencias nutricionales (Armstrong, 2004). La adecuada restauración de los depósitos de glucógeno suele relacionarse con la reducción en los marcadores de daño muscular (Zawadzki, 1992; Flakoll, 2004; Hawley, 2006, y Peake, 2007).

Los resultados de la investigación científica parece que revelan que consumir una combinación de hidratos de carbono y proteínas en la primera hora tras el ejercicio de muy alta intensidad contribuye a restaurar los músculos dañados durante la misión y permite comenzar a restablecer los depósitos de glucógeno (Hawley 2006, Zawadzki 1992, Kerksick 2008, Flakoll 2004, Rowlands 2007). La proporción más recomendada para optimizar el efecto de acelerar la recuperación es de entre 12 g y 18 g de proteínas y entre 50 g y 75 g de hidratos de carbono, es decir, la relación proteína/hidrato de carbono ha de ser $\frac{1}{4}$ (Hawley, 2006; Zawadzki, 1992; Kerksick, 2008, y Ivy, 2002).

6. Utilizar calcetines de tejido sintético para evitar ampollas.

Los tejidos hidrofóbicos para la fabricación de calcetines reducen significativamente la aparición de ampollas (Knapik, 1996). Este efecto se comprobado bien en diversos estudios en los que se ha observado que mientras que las ampollas aparecen en el 39% de los reclutas de marinería que emplean calcetines de lana o de algodón, entre los que empleaban los calcetines sintéticos hidrofóbicos lo sufrían un 16%, lo que supone más de un 50% de reducción en la aparición de estas incómodas lesiones (Jagoda, 1981).

Las herramientas más eficaces para conseguirlo, y evitar el OTS, son:

- Cuestionarios retrospectivos.
- Diarios de entrenamiento.
- Revisión psicológica periódica.
- Observación directa del entrenador.

Por ejemplo, nuestro grupo utilizaba el registro de la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) durante la valoración funcional en el laboratorio y como herramienta para identificar el estado psicofísico de los militares entrenados y evaluados (Calvo, 1997). Este procedimiento se ha empleado en numerosos programas de entrenamiento con igual propósito. En algunas ocasiones, la valoración se hace multiplicando la cifra del RPE (entre 6 y 20) por el tiempo

de duración (en minutos), lo que permite considerarlo como una cifra objetiva de carga de entrenamiento a lo largo de las semanas (Foster, 1996). Incluso se ha empleado también para evaluar la monotonía del entrenamiento, definida como el cociente entre la media de este parámetro y su desviación estándar (Foster, 1998), añadiendo a estos datos las contingencias de otros factores como las enfermedades intercurrentes, que pueden influir en el desarrollo de OTS.

La experiencia del empleo de diarios de entrenamiento queda bien reflejada en diversos estudios, como los de nadadores, en los que se recogían datos como la distancia recorrida, el ejercicio fuera del agua y la percepción subjetiva del esfuerzo, junto con otros referentes a la calidad del sueño, fatiga, estrés, dolor muscular, masa corporal, frecuencia cardiaca basal, enfermedades, menstruación o posibles causas del estrés (Hooper, 1995).

Modelo de ficha para la prevención del OTS

Fatiga / rendimiento / condición física

¿Sufre nuestro entrenado...

- ...pérdida de forma inexplicable?
- ... fatiga persistente?
- ... alteraciones del sueño?

Criterios de exclusión

¿Podría sufrir alguna enfermedad como...

- ... anemia?
- ... enfermedad infecciosa?
- ... daño muscular?: CK, etc.
- ... enfermedad endocrina?: diabetes, alts. tiroideas o suprarrenales, etc.
- ... trastornos psiquiátricos?
- ... anomalías analíticas?: creatinina, ferritina, GOT, GPT, GGT, PCR, etc.
- ... lesiones locomotoras?
- ... enfermedades cardiorrespiratorias?
- ... alergias?

Factores del entrenamiento/intervención y operativa/competición

¿Podemos mejorar el entrenamiento evitando...

- ... excesivo volumen de entrenamiento (>5%) (h/sem, km/sem...)?
- ... excesivo incremento de la intensidad?
- ... monotonía?
- ... excesivo número de intervenciones operativas/competiciones?
- ... excesiva exposición a ambientes extremos?: frío, calor, altura, etc.

Otros factores de confusión

¿Tenemos signos o síntomas psicológicos de alarma, como...

- ... los detectados mediante FERE, POMS, RPE, etc.?
- ... los derivados de aspectos sociales?: compañeros, familia, asuntos económicos, profesionales, etc.
- ... desplazamientos?

Test de campo

¿Contamos con...

- ... datos basales con los que poder comparar?
- ... ergometría de carácter máximo?
- ... pruebas específicas de las principales tareas a acometer?
- ... otras pruebas?

Bibliografía

- ADLERCREUTZ, H., HARKONEN, M. *et al.*, "Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their responses during physical exercise". *International Journal of Sports and Medicine*, 1998, n.º 7 (supl.), pp. 27-30.
- ALMEIDA, S.; WILLIAMS, K.; SHAFFER, R.; LUZ, J., y BADONG, E., *Aphysical training program to reduce musculoskeletal injuries in U. S. Marine Corps recruits*. San Diego CA: Naval Health Research Center, 1997.
- American College of Sports Medicine Position Stand, "The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1998, n.º 30 (6), pp. 975-991.
- AMOROSO, P. J.; RYAN, J. B.; BICKLEY, B.; LEITSCHUH, P.; TAYLOR, D. C., y JONES, B. H., "Braced for impact: reducing military paratroopers' ankle sprains using outside-the-boot braces". *Journal of Trauma*, 1998, n.º 45 (3), pp. 575-580.
- ANDRADE, E., ARCE, C. *et al.*, "Aportaciones del POMS a la medida del estado de ánimo de los deportistas". *Revista de Psicología del Deporte*, 2000, n.º 9, pp. 7-20.
- ARMSTRONG, D. W. III; RUE, J. P.; WILCKENS, J. H., y FRASSICA, F. J., "Stress fracture injury in young military men and women". *Bone*, 2004, n.º 35 (3), pp. 806-816.
- ARMSTRONG, L. y VAN HEEST, J., "The unknown mechanism of overtraining syndrome". *Sports Medicine*, 2002, n.º 32, pp. 185-209.
- BENNEL, K.; MATHESON, G.; MEEUWISSE, W., y BRUKNER, P., "Risk factors for stress fractures". *Sports Medicine*, 1999, n.º 28 (2), pp. 91-122.
- BEYNNON, B. D., MURPHY, D. F. y ALOSA, D. M., "Predictive factors for lateral ankle sprains: a literature review". *Journal of Athletic Training*, 2002, n.º 37 (4), pp. 376-380.
- BOUCHARD, C. y HOFFMAN, E., *Genetic and molecular aspects of sport performances*. Wiley-Blackwell, 2011.
- BULLOCK, S. H.; JONES, B. H.; GILCHRISH, J., MARSHALL, S. W., "Prevention of physical training-related injuries". *American Journal of Preventive Medicine*, 2010, n.º 38, (1S), pp. 156-181.
- CALVO, F.; CHICHARRO, J. L.; BANDRÉS, F.; LUCÍA, A.; PÉREZ, M.; ALVAREZ, J.; LÓPEZ MOJARES, L.; VAQUERO, A. F., y LEGIDO, J. C., "Anaerobic threshold determination with analysis of salivary amylase". *Canadian Journal of Applied Physiology*. n.º 22 (6), diciembre de 1997, pp. 553-561.

- CANHAM-CHERVAK, M.; JONES, B.; LEE, R., y BAKER, S., *Focusing injury prevention efforts: using criteria to set objective priorities*. Philadelphia PA: American Public Health Association Annual Meeting, 2005.
- CARINS, J. y BOOTH, C., "Salivary immunoglobulin-A as a marker during strenuous physical training". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 2002, n.º 3, pp. 1203 – 7. 2002.
- DE LA CRUZ, G. G., KNAPIK, J. J. y BIRK, M. G., "Evaluation of mouthguards for the prevention of orofacial injuries during United States Army basic military training". *Dental Traumatology*, n.º 24 (1), pp. 86–90. 2008.
- DEUSTER, P. A., JONES, B. H. y MOORE, J. "Patterns and risk factors for exercise-related injuries in women: a military perspective". *Military Medicine*, 1997, n.º 162 (10), pp. 649-655.
- DUCLOS, M., GOUARNE, C. *et al.*, "Acute and chronic effects of exercise on tissue sensitivity to glucocorticoids". *Journal of Applied Physiology*, 2003, n.º 94, pp. 869-875.
- FOSTER, C., DAINES, E. *et al.*, "Athletic performance in relation to training load" *Wisconsin Medical Journal*, 1996, n.º 95, pp. 370-374.
- FOSTER, C., "Monitoring training in athletes with reference to OTS". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1998, n.º 30, pp. 1164-1168.
- FRY, R. W.; MORTON, A. R.; GARCIA-WEBB, P.; CRAWFORD, G. P., y KEAST, D., "Biological responses to overload training in endurance sports". *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1992, n.º 64 (4), pp. 335-344.
- GRIFFIN, L. Y.; ALBOHM, M. J.; ARENDT, E. A., *et al.*, "Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II Meeting, January 2005". *American Journal of Sports Medicine*, 2006, n.º 34 (9), pp. 1512-1532.
- HALSON, S. y JEUKENDRUP, A., "Does overtraining exist?" *Sports Medicine*, 2004, n.º 34, pp. 967-981.
- HALSON, S. L., *Performance, metabolic and hormonal alteration during overreaching*. PhD thesis. Queensland, Australia: University of Technology, 2005.
- HAWLEY, J. A., TIPTON, K. D. y MILLARD-STAFFORD, M. L., "Promoting training adaptations through nutritional interventions". *Journal of Sports Science*, 2006, n.º 24 (7), pp. 709-721.
- HOOPER, S. *et al.*, "Mood states as an indicator of staleness and recovery". *International Journal of Sports Psychology*, 1997, n.º 28, pp. 1-12.
- HOOPER, S. y MACKINNON, L., "Monitoring overtraining in athletes". *Sports Medicine*, 1995, n.º 20, pp. 321-327.

- HOOTMAN, J. M.; MACERA, C. A.; AINSWORTH, B. E.; ADDY, C. L.; MARTIN, M., y BLAIR, S. N., "Epidemiology of musculoskeletal injuries among sedentary and physically active adults". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2002, n.º 34 (5), pp. 838-844.
- HRELJAC, A., "Impact and overuse injuries in runners". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2004, n.º 36 (5), pp. 845-849.
- International Journal of Sports Medicine*, 2003, n.º 24 (5), pp. 372-381.
- IVY, J. L.; GOFORTH, H. W. JR.; DAMON, B. M.; MCCAULEY, T. R.; PARSONS, E. C., y PRICE, T. B., "Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement". *Journal of Applied Physiology*, 2002, n.º 93 (4), pp. 1337-1344.
- JAGODA, A.; MADDEN, H. y HINSON, C., "A friction blister prevention study in a population of marines". *Military Medicine*, 1981, n.º 146 (1), pp. 42-44.
- JONES., B. H., BULLOCK, S. H. Y CANHAM-CHERVAK, M., *A model process for setting military injury prevention priorities and making evidence-based recommendations for interventions: a white paper for the Defense Safety Oversight Council, Military Training Task Force*. Aberdeen Proving Ground MD: U. S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine, 2005. <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA493445>.
- JONES, B. H., COWAN, D. N. y KNAPIK, J. J., "Exercise, training and injuries". *Sports Medicine*, 1994, n.º 18 (3), pp. 202-214.
- JONES, B. H.; COWAN, D. N.; TOMLINSON, J. P.; ROBINSON, J. R.; POLLY, D. W., y FRYKMAN, P. N., "Epidemiology of injuries associated with physical training among young men in the army". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1993, n.º 25 (2), pp. 197-203.
- JONES, B. H. y KNAPIK, J. J., "Physical training and exercise-related injuries. Surveillance, research and injury prevention in military populations". *Sports Medicine*, 1999, n.º 27 (2), pp. 111-125.
- JONES, B. H.; THACKER, S. B.; GILCHRIST, J.; KIMSEY, C. D. Jr., y SOSIN, D. M., "Prevention of lower extremity stress fractures in athletes and soldiers: a systematic review". *Epidemiologic Reviews*, n.º 24 (2).
- KAUFMAN, K. R., BRODINE, S. y SHAFFER, R., "Military training-related injuries: surveillance, research and prevention". *American Journal of Preventive Medicine*, 2000, n.º 18 (3S), pp. 54-63.
- KELLMAN, M., *Enhancing recovery*. Human Kinetics, 2002.
- KERKSICK, C.; HARVEY, T.; STOUT, J., et al., "International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing". *Journal of the International Society of Sports and Nutrition*, 2008, n.º 5, p. 17.

- KNAPIK, J.; SCOTT, S.; SHARP, M., *et al.*, *Guidance for ability group run speeds and distances in basic combat training*. Fort Benning G. A.: U. S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine, U. S. Army Physical Fitness School, 2003.
- KNAPIK J. J.; BULLOCK, S. H.; CANADA, S., *et al.*, "Influence of an injury reduction program on injury and fitness outcomes among soldiers". *Injury Prevention*, 2004, n.º 10 (1), pp. 37-42.
- KNAPIK J. J.; BULLOCK, S. H.; CANADA, S.; TONEY, E., y WELLS, J. D., *The Aberdeen Proving Ground Injury Control Project: influence of a multiple intervention program on injuries and fitness among ordnance school soldiers in advanced individual training*. Aberdeen Proving Ground MD: U. S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine, 2003.
- KNAPIK, J. J.; CRAIG, S. C.; HAURET, K. G., y JONES, B. H., "Risk factors for injuries during military parachuting". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 2003, n.º 74 (7), pp. 768-774.
- KNAPIK, J. J.; DARAKJY, S.; SCOTT, S.; HAURET, K. G., y CANADA, S., *Evaluation of two Army fitness programs: the TRADOC standardized physical training program for basic combat training and the fitness assessment program*. Aberdeen Proving Ground MD: U. S. Center for Health Promotion and Preventive Medicine, 2004.
- KNAPIK, J. J.; HAMLET, M. P.; THOMPSON, K. J., y JONES, B. H., "Influence of boot-sock systems on frequency and severity of foot blisters". *Military Medicine*, 1996, n.º 161 (10), pp. 594-598.
- KNAPIK, J. J.; HAURET, K. G.; ARNOLD, S., *et al.*, "Injury and fitness outcomes during implementation of physical readiness training". *International Journal of Sports Medicine*, 2003, n.º 24 (5), pp. 372-381.
- KNAPIK, J. J.; HAURET, K. G.; ARNOLD, S., *et al.*, "Injury and fitness outcomes during implementation of physical readiness training". *International Journal of Sports Medicine*, 2003, n.º 24 (5), pp. 372-381.
- KNAPIK, J. J.; JONES, B. H.; BAUMAN, C. L., y HARRIS, J. M., "Strength, flexibility and athletic injuries". *Sports Medicine*, 1992, n.º 14 (5), pp. 277-288.
- KNAPIK, J. J.; MARSHALL, S. W.; LEE, R. B., *et al.*, "Mouthguards in sport activities: history, physical properties and injury prevention effectiveness". *Sports Medicine*, 2007, n.º 37 (2), pp. 117-144.
- KOPLAN, J. P., ROTHENBERG, R. B. y JONES, E. L., "The natural history of exercise: a 10-yr follow-up of a cohort of runners". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1995, n.º 27 (8), pp. 1180-1184.
- KOUTEDAKIS, Y. *et al.*, "Seasonal variations of injury and overtraining in elite athletes". *Clinical Journal of Sports Medicine*, 1998, n.º 8, pp. 18-21.

- LEHMANN, M., FOSTER, C. *et al.*, "Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1998, n.º 30, pp. 1140-1145.
- LEHMANN, M., FOSTER, C. *et al.*, *Overload, performance incompetence and regeneration in sport*. Kluwer Academic/Plenum Publisher, 1999.
- LÓPEZ CHICHARRO, J., LÓPEZ MOJARES, L. M. *et al.*, "Overtraining parameters in Special Military Units". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1998.
- LÓPEZ, M., *DoD Military Injury Metrics Working Group white paper*. Washington D. C.: Departamento de Defensa de EE. UU., 2002. www.ergoworkinggroup.org/ewgweb/SubPages/ProgramTools/Metrics/MilitaryInjuryMetricsWhitepaperNov02rev.pdf.
- LÓPEZ MOJARES, L. M., *Tesis doctoral*. UCM, 1997.
- LÓPEZ MOJARES, L. M., *Actividad física y salud*. CIE-DOSSAT, 2002.
- MANN, G.; KAHN, G.; SUDERER, M.; ZEEV, A.; CONSTANTINI, N., y NYSKA, M., "Preventive effects of an on-shoe brace on ankle sprains in infantry". En *The unstable ankle*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2002.
- MCARDLE, W. D., KATCH, F. L. y KATCH, V. L., "Training for anaerobic and aerobic power". En *Essentials of exercise physiology*. Philadelphia: Williams and Wilkins, 1994.
- Medicine*. U. S. Army Physical Fitness School, 2003.
- MEEUSEN, R., DUCLOS, M. *et al.*, "Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome". *European Journal of Sports Science*, 2006, n.º 6, pp. 1 -14.
- MEEUSEN, R., PIACENTINI, M. *et al.*, "Hormonal responses in athletes". *European Journal of Applied Physiology*, 2004, n.º 91, pp. 140-146.
- MEEUSSEN, R., NEDERHOF, E. *et al.*, "Diagnosing overtraining in athletes using the twobout exercise protocol". *British Journal of Sports Medicine*, 2010, n.º 44, pp. 642-648.
- NEDERHOF, E., KOEN, A. *et al.*, "Psychomotor speed. Possibly a new marker for overtraining syndrome". *Sports Medicine*, 2006, n.º 36 (10), pp. 817-828.
- NELSON, M. E.; REJESKI, W. J.; BLAIR, S. N., *et al.*, "Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2007, n.º 39 (8), pp. 1435-1445.
- PEAKE, J. M., SUZUKI, K. y COOMBES, J. S., "The influence of antioxidant supplementation on markers of inflammation and the relationship to oxidative stress after exercise". *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2007, n.º 18 (6), pp. 357-371.

- PESCATELLO, L. y ROTH, S. M., *Exercise genomics*. Humana Press, 2011.
- “Physical training among young men in the army”. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1993, n.º 25 (2), pp. 197-203.
- POLLOCK, M.; GETTMAN, L.; MILESI, C.; BAH, M.; DURSTINE, L. y JOHNSON, R., “Effects of frequency and duration of training on attrition and incidence of injury”. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1977, n.º 9 (1), pp. 31-36.
- POPE, R. P., “Prevention of pelvic stress fractures in female army recruits”. *Military Medicine*, 1999, n.º 164 (5), pp. 370-373. 1999.
- RICE, V.; CONNOLLY, V.; BERGERON, A.; MAYS, M., y EVANS-CHRISTOPHER, G., *Evaluation of a progressive unit-based running program during advanced individual training*. Army Research Institute of Environmental Medicine, febrero de 2002. <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA402890>.
- ROWLANDS, D. S.; THORP, R. M.; ROSSLER, K.; GRAHAM, D. F., y ROCKELL, M. J., “Effect of protein-rich feeding on recovery after intense exercise”. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2007, n.º 17 (6), pp. 521-543.
- RUDZKI, S. J. y CUNNINGHAM, M. J., “The effect of a modified physical training program in reducing injury and medical discharge rates in Australian Army recruits”. *Military Medicine*, 1999, n.º 164 (9), pp. 648-652.
- RUDZKI, S. J., “Injuries in Australian Army recruits. Part II: location and cause of injuries seen in recruits”. *Military Medicine*, 1997, n.º 162 (7), pp. 477-480.
- RUDZKI, S. J., “Injuries in Australian Army recruits. Part I: decreased incidence and severity of injury seen with reduced running distance”. *Military Medicine*, 1997, n.º 162 (7), pp. 472-476.
- RUMSFELD, D. H., “Reducing preventable accidents”. *Memorandum*. Oficina de la Secretaría de Defensa, 19 de mayo de 2003.
- SCHMIDT, M. D., SULSKY, S. I. y AMOROSO, P. J., “Effectiveness of an outside-the-boot ankle brace in reducing parachuting related ankle injuries”. *Injury Prevention*, 2005, n.º 11 (3), pp. 163-168.
- SCHUMACHER, J. T. Jr., CREEDON, J. F. y POPE, R. W., “The effectiveness of the parachutist ankle brace in reducing ankle injuries in an airborne ranger battalion”. *Military Medicine*, 2000, n.º 165 (12), pp. 944-948.
- SHAFFER, R. A., “Musculoskeletal Injury Project”. En *43rd Annual Meeting of the American College of Sports Medicine*. Cincinnati, OH: 1996.
- SHERARD, J.; LENNE, M.; CASSELL, E.; STOKES, M., y OZANNE-SMITH, J., “Injury prevention during physical activity in the Australian Defence Force”. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2004, n.º 7 (1), pp. 106-117.

- SMISCH, C., LORNES, W. *et al.*, "Training intensity influences leptin and thyroid hormones in highly trained rowers". *International Journal of Sports Medicine*, 2002, n.º 23, pp. 422-427.
- Sports Medicine*, 2006, n.º 34 (9), pp. 1512-1532.
- STEINACKER, J. M. y LEHMAN, M., "Clinical findings and mechanisms of stress and recovery in athletes". En: KELLMAN, M., *Enhancing recovery*. Human Kinetics, 2002.
- SZYMANSKI, D. J., "Recommendations for the avoidance of delayed-onset muscle soreness". *Strength and Conditioning Journal*, 2001, n.º 23 (4), pp. 7-13.
- THACKER, S. B.; GILCHRIST, J.; STROUP, D. F., y KIMSEY, C. D., "The prevention of shin splints in sports: a systematic review of literature". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2002, n.º 34 (1), pp. 32-40.
- THACKER, S. B.; STROUP, D. F.; BRANCHE, C. M.; GILCHRIST, J.; GOODMAN, R. A., y PORTER, KELLING E., "Prevention of knee injuries in sports. A systematic review of the literature". *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2003, n.º 43 (2), pp. 165-179.
- THACKER, S. B.; STROUP, D. F.; BRANCHE, C. M.; GILCHRIST, J.; GOODMAN, R. A., y WEITMAN, E. A., "The prevention of ankle sprains in sports. A systematic review of the literature". *American Journal of Sports Medicine*, 1999, n.º 27 (6), pp. 753-760.
- TIOLLIER, E., GÓMEZ-MERINO, D. *et al.*, "Intense training mucosal immunity and incidence of respiratory infections". *European Journal of Applied Physiology*, 2005, n.º 93, pp. 421-428.
- TRANK, T. V.; RYMAN, D. H.; MINAGAWA, R. Y.; TRONE, D. W., y SHAFFER, R. A., "Running mileage, movement mileage and fitness in male U.S. Navy recruits". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2001, n.º 33 (6), pp. 1033-1038.
- TRONE, D. W., HAGAN, R. D. y SHAFFER, R. A., *Physical training program guidelines for U.S. Navy recruits: preparing recruits for battle stations*. San Diego, CA: Naval Health Research Center, 1999.
- U. S. Navy Injury Prevention Work Group. *Prevention of injuries of sailors during accession training*. Pensacola FL: Naval Aviation Schools Command and Navy Environmental Health Center, 2000.
- UMEDA, T.; NAKAJI, S.; SHIMOYAMA, T.; YAMAMOTO, Y.; TOTSUKA, M., y SUGAWARA, K., "Adverse effects of energy restriction on myogenic enzymes in judoists". *Journal of Sports Sciences*, 2004, n.º 22 (4), pp. 329-338.
- URHAUSEN, A, GABRIEL, H *et al.*, "Impaired pituitary hormonal response to exhaustive exercise in overtrained endurance athletes". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1998, n.º 30, pp. 407-414.

- URHAUSEN, A. y KINDERMANN, W., "Diagnosis of overtraining". *Sports Medicine*, 2002, n.º 32, pp. 95-102.
- UUSITALO, A. L., UUSITALO, A. J. *et al.*, "Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in female athlete". *International Journal of Sports Medicine*, 2000, n.º 21, pp. 45-53.
- VERHAGEN, E. A., VAN MECHELEN, W. y DE VENTE, W., "The effect of preventive measures on the incidence of ankle sprains". *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2000, n.º 10 (4), pp. 291-296.
- WALSH, N., BLANNIN, P. *et al.*, "Glutamine, exercise and immune function". *Sports Medicine*, 1998, n.º 26, pp. 177-191.
- WILMORE, J. H. y COSTILL, D. L., "Quantifying sports training". En *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004.
- YEUNG, E. W. y YEUNG, S. S., "A systematic review of interventions to prevent lower limb soft tissue running injuries". *British Journal of Sports Medicine*, 2001, n.º 35 (6), pp. 383-389.
- YEUNG, E. W. y YEUNG, S. S., *Interventions for preventing lower limb soft-tissue injuries in runners*. Cochrane Database of Systematic Reviews, (3):CD001256, 2001.
- ZAWADZKI, K. M., YASPELKIS, B. B. III e IVY, J. L., "Carbohydrateprotein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise". *Journal of Applied Physiology*, 1992, n.º 72 (5), pp. 1854-1859.

ENTRENAMIENTO EN ALTURA: ¿LA MOTO MEJOR VENDIDA DE LA HISTORIA DE LA FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO?

Jose A. López Calbet
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Efectos de la altitud sobre las capacidades físicas

Cuanto mayor es la altura a la que hay que efectuar ejercicio, más penoso resulta. Esto es debido a que a medida que se asciende disminuye la presión atmosférica y con ello la presión parcial de oxígeno. Como consecuencia, cae la presión parcial de oxígeno en sangre arterial. Cuando la presión parcial de O₂ en sangre arterial es más baja, la concentración de O₂ en la sangre arterial disminuye.

Este efecto se empieza a percibir a partir de los 400 m sobre el nivel del mar; no obstante, es más notorio a partir de los 3.000 m de altura y se vuelve casi imposible realizar ejercicio por encima de los 6.000 m de altura sin aclimatación previa, debido a que la presión arterial de O₂ disminuye durante el esfuerzo, alcanzando valores críticos que provocan la pérdida de conciencia. La cualidad física que más se deteriora en la altitud es la resistencia aeróbica.

La exposición aguda a la altitud, por ejemplo el despliegue de tropas no aclimatadas, no produce deterioro de la fuerza o potencia muscular, pero la capacidad de *sprint* en carreras de 30 o más segundos está disminuida y el tiempo necesario para recuperarse después de un *sprint* está muy aumentado. Estos problemas se pueden paliar en parte mediante aclimatación, que se puede lograr con exposición prolongada a la hipoxia.

En 1963 se eligió la ciudad de Méjico para celebrar la XIX Olimpiada (1968), lo que despertó un gran interés en la comunidad científica acerca de la respuesta fisiológica al esfuerzo en condiciones de hipoxia. Los entrenadores demandaron información acerca de los posibles efectos de la hipoxia sobre el rendimiento deportivo; especialmente mostraron interés en técnicas o procedimientos para mejorar el rendimiento en Méjico. Desde entonces, han sido numerosos los estudios publicados acerca de los efectos del entrenamiento en altura sobre el rendimiento deportivo tanto en altura como a nivel del mar.

Pronto se propuso que el incremento de la concentración de hemoglobina producido por la hipoxia crónica podría contribuir a aumentar el rendimiento

a la vuelta a nivel del mar. Así mismo, surgió la idea de utilizar el entrenamiento en condiciones de hipoxia para aumentar el rendimiento a nivel del mar, suponiendo que el entrenamiento en condiciones de hipoxia permitiría un mayor estímulo y consecuentemente una mayor adaptación del organismo al entrenamiento de resistencia aeróbica.

Sin embargo, un análisis detallado de las adaptaciones que se producen durante el proceso de aclimatación a la hipoxia y de las que desencadena el entrenamiento de resistencia aeróbica permite exponer adaptaciones en las que podría haber potenciación entre ambos estímulos, pero también adaptaciones que podrían resultar contraproducentes.

Nos centraremos primero en el efecto del entrenamiento en altura sobre la resistencia aeróbica y luego abordaremos los posibles efectos sobre la capacidad y la potencia anaeróbicas.

¿Por qué entrenar en altura para mejorar la resistencia aeróbica? ¿Es este método más eficaz que entrenar solo a nivel del mar? ¿Quién debería entrenar en altura?

El principal argumento fisiológico que se ha esgrimido para defender el entrenamiento en altura moderada para mejorar la resistencia aeróbica es que este tipo de entrenamiento produce un aumento de la concentración de hemoglobina. Así, al volver a nivel del mar, la capacidad de suministro de O_2 estará aumentada y por lo tanto el consumo máximo del O_2 (VO_2 max) y la resistencia aeróbica serán superiores. Es decir, este entrenamiento produciría unos efectos parecidos a los que produce la administración de eritropoyetina.

Sin embargo, el aumento de la concentración de hemoglobina que se produce con la hipoxia es debido fundamentalmente a un descenso del volumen plasmático. El descenso del volumen plasmático permite elevar el hematocrito en 5-10 unidades en 24-48 horas, por lo que es un mecanismo muy eficaz para aumentar rápidamente el contenido de O_2 de la sangre arterial. La ingesta de abundante agua no es capaz de prevenir la deshidratación inducida por hipoxia. Incluso existen trabajos recientes que parecen indicar que la deshidratación parcial es una respuesta fisiológica a la altitud, mientras que las personas que se deshidratan menos parecen tener más riesgo de desarrollar edemas, incluido el temido edema pulmonar.

No obstante, si se vive en altura pero se entrena a nivel del mar se puede evitar en gran medida el descenso de volumen plasmático. Además, la permanencia en altitud sin hacer ejercicio aumenta la concentración de hemoglobina, pero no aumenta el VO_2 max al volver a nivel del mar. La aclimatación pasiva a la altura mejora el VO_2 max en altitud de personas físicamente activas (no de atletas de élite). Si durante la estancia en altitud se realiza entrenamiento aerobio, mejora el VO_2 max de altitud más de lo que mejoraría sin entrenar.

Tras la exposición prolongada a la altura, la vuelta a nivel del mar provoca un descenso rápido de la concentración de hemoglobina hasta valores próximos a los que se dan de forma natural a nivel del mar, debido a que se retiene agua y se expande el volumen plasmático hasta alcanzar valores similares (Robach y col, 2002) o ligeramente superiores (4-7%) a los observados a nivel del mar. Además, se puede activar un proceso denominado neocitólisis por el cual se produce una destrucción acelerada de hematíes, especialmente de los más jóvenes, en parte debido al descenso de los niveles de eritropoyetina, por lo que cualquier efecto producido sobre la concentración de hemoglobina en la sangre es efímero, hasta el extremo de que a los 3-10 días del regreso a nivel del mar la concentración de hemoglobina es similar a la observada antes de la exposición a la hipoxia. Si la estancia en altura es corta, menos de un mes, y la altura moderada (inferior a 2.000 metros), los efectos sobre la concentración de hemoglobina no son tan marcados y el restablecimiento de las concentraciones normales de hemoglobina se produce en los tres primeros días después del regreso a nivel del mar.

El mantenimiento de un volumen plasmático elevado es especialmente importante para las pruebas aeróbicas de larga duración, sobre todo si se realizan en ambientes cálidos, en los que el estrés térmico acelera la aparición de la fatiga si el volumen plasmático está disminuido. A las 24-48 horas de la finalización de la estancia en altura se produce una expansión del volumen plasmático y ésta puede durar al menos 10-14 días en los deportistas a la vuelta a nivel del mar. Posiblemente el entrenamiento efectuado a la vuelta a nivel del mar facilita el mantenimiento de parte o la totalidad de la expansión de volumen plasmático causada por el retorno a nivel del mar. Si las competiciones se realizan después de 24-48 horas de la finalización de la estancia en altura, el problema debido a reducción del volumen plasmático que provoca la hipoxia crónica quedaría solucionado e incluso podría darse un beneficio adicional por la expansión plasmática. Aún no sabemos cuáles son los factores que determinan la expansión del volumen plasmático a la vuelta a nivel del mar, ni cuántos días dura ni la influencia real que tiene sobre la capacidad de rendimiento.

La mayoría de los estudios controlados han demostrado que la residencia en altitudes entre 1.500 y 3.000 metros, combinada con entrenamiento en altura, permite aumentar el rendimiento durante el esfuerzo en altura. Lo que no está claro es qué parte de la mejora del rendimiento es meramente debida a la aclimatación y qué parte corresponde al entrenamiento en sí. La mayoría de los estudios sugieren que el entrenamiento en altura no permite aumentar el VO_2 max a nivel del mar en sujetos que antes de realizar la estancia en altura ya estaban a un nivel casi óptimo de rendimiento. O sea, la residencia en altura combinada con entrenamiento en altura no permite aumentar el VO_2 max en mayor medida que el mismo entrenamiento efectuado a nivel del mar. Se ha aducido que el entrenamiento en altura no es tan eficaz como el entrenamiento

a nivel del mar porque en altura no es posible mantener la misma intensidad absoluta ni es posible realizar el mismo volumen de entrenamiento que a nivel del mar. Además, cuando se realiza ejercicio intermitente de alta intensidad, el tiempo de recuperación entre series debe ser mayor para mantener la misma intensidad de esfuerzo durante las series que a nivel del mar.

Los estudios mejor diseñados para analizar los efectos de diversas estrategias de entrenamiento en altura corresponden a Levine y Stray-Gundersen. Estos autores reclutaron a un grupo de 39 corredores universitarios que entrenaron juntos en Dallas (a nivel del mar) durante cuatro semanas obteniendo una mejora de 2,1% de la marca en 5.000 metros. A continuación, este grupo fue dividido en tres grupos de 13 corredores, cada uno integrado por nueve hombres y cuatro mujeres. Los grupos fueron denominados HiHi (High-High), HiLo (High-Low) y LoLo (Low-low). Los grupos HiHi y HiLo vivieron a 2.500 metros de altura durante las cuatro semanas, mientras que el grupo LoLo vivió y entrenó durante el mismo periodo a nivel del mar (Dallas). El grupo HiHi entrenó a 2.500 metros de altura, mientras que el grupo HiLo entrenó a 1.250 metros de altura (**figura 8**).

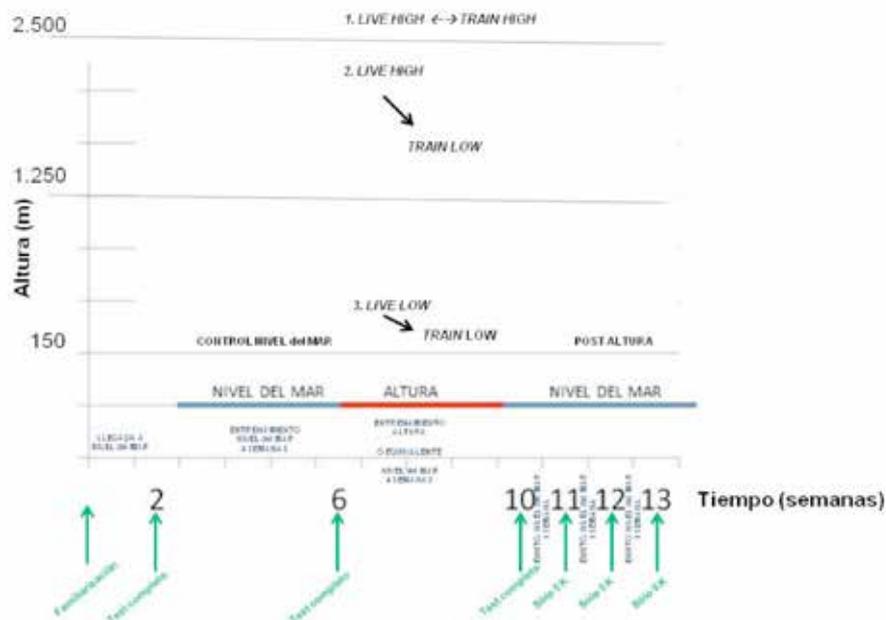


Figura 8: Esquema de los estudios llevados a cabo en 39 corredores universitarios por Levine y Stray-Gundersen (ver detalles en el texto) (Levine y Stray-Gundersen, 1997).

Los entrenamientos realizados por los tres grupos fueron similares en términos de volumen de entrenamiento (total de km recorridos), intensidad relativa y características del terreno. Los dos grupos que vivieron en altura aumentaron la masa eritrocitaria (masa total de hemoglobina) un 5,3% y un 10,5% (HiLo y HiHi,

respectivamente). También mejoraron el VO_2 max un 4% y un 3% (HiLo y HiHi, respectivamente), pero sólo el grupo HiLo mostró una mejora adicional en la marca en 5.000 metros al volver a Dallas del 1,4% (figura 9). Esta mejora en el rendimiento se puso de manifiesto inmediatamente después de regresar a Dallas y se mantuvo durante las tres primeras semanas de retorno a nivel del mar.

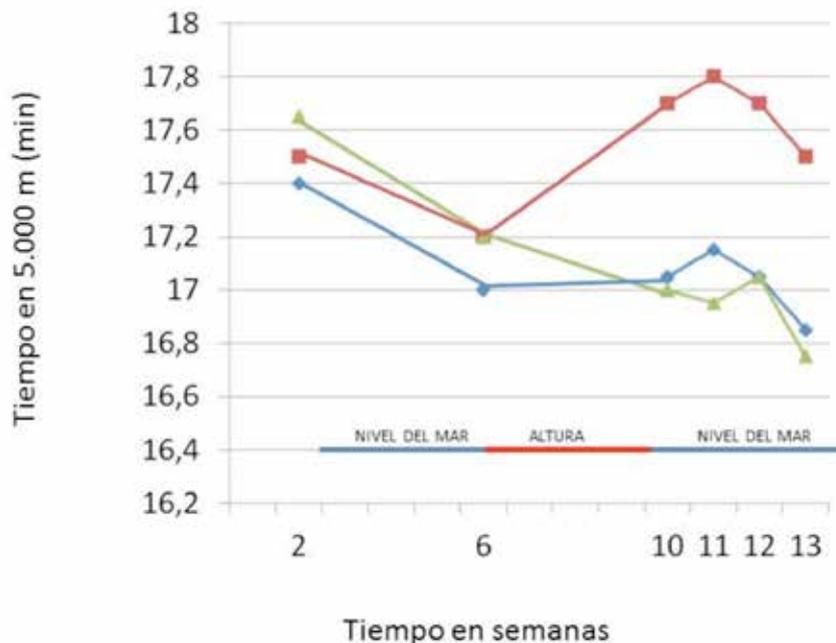


Figura 9: Rendimiento en la prueba de 5.000 metros en pista de atletismo en 39 corredores universitarios, antes y después de ser sometidos a una fase de entrenamiento a nivel del mar, seguida de residencia en altitud (2.500 m) y entrenamiento a 2.500 m (HiHi, n=13), residencia en altitud (2.500 m) y entrenamiento a 1.250 m (HiLo, n=13) o residencia a nivel del mar y entrenamiento a nivel del mar (LoLo, n=13).(*) indica diferencias significativas con el punto inmediatamente anterior dentro del mismo grupo de entrenamiento.

Las razones que esgrimieron los autores para explicar estos efectos fueron las siguientes: el grupo HiHi aumentó la masa eritrocitaria pero su rendimiento no mejoró debido a que durante las sesiones de entrenamiento el VO_2 tuvo que ser un poco menor debido a la hipoxia, y el grupo LoLo tampoco consiguió mejorar su rendimiento porque no aumentó la masa eritrocitaria con el entrenamiento a nivel del mar. Pero no todos los sujetos del grupo HiLo experimentaron mejoras en el rendimiento, hubo casos de mejoras superiores al 5% y otros de ausencia de mejora. Esta diversidad en la respuesta al entrenamiento HiLo suscitó un nuevo estudio por el mismo grupo de investigadores (Chapman y col., 1998); en este último estudio, constataron que los sujetos que experimentaron incremento de la masa eritrocitaria fueron en general los que más mejoraron su VO_2 max y su rendimiento.

Para facilitar el incremento de la masa eritrocitaria es necesario que los sujetos reciban suplementos de hierro durante la estancia en altura. La respuesta es similar en varones y mujeres.

En un tercer estudio, Levine y Stary-Gundersen estudiaron los efectos del sistema de entrenamiento HiLo en 26 corredores de élite (17 varones y nueve mujeres) de distancias comprendidas entre 1.500 m y maratón, que compitieron en los campeonatos americanos de atletismo. Estos corredores fueron estudiados inmediatamente después de los campeonatos nacionales, es decir, cuando debían encontrarse en su pico de forma (**Figura 10**), y tras cuatro semanas viviendo a 2.500 metros de altura y entrenando entre 1.250 metros y 3.000 metros de altura. Todos los entrenamientos de alta intensidad los realizaron a 1.250 metros, mientras que el resto de los entrenamientos lo realizaron principalmente entre 2.000 y 2.800 metros de altura.



Figura 10: Esquema de los estudios llevados a cabo en 26 corredores de élite sometidos a cuatro semanas de residencia a 2.500 m (Deer Valley) realizando los entrenamientos de alta intensidad a 1.250 m (Salt Lake City) y los de baja-moderada intensidad a 2.000-2.800 m de altitud. Los corredores fueron testados inmediatamente después de los campeonatos nacionales de atletismo americanos, un día antes del “campus” en altura y nuevamente tres días después de la finalización del “campus de entrenamiento en altura”. Adaptado de Stray-Gundersen y col., 2001.

A este modelo de entrenamiento lo denominaron HiHiLo (High-High-Low) porque incorporó vivir a 2.500 metros de altitud efectuando los entrenamientos de base (los de intensidad media y baja) a altitud moderada (2.000-2.800 m) y los

entrenamientos de alta intensidad a baja altitud (1.250 m). Tanto los varones como las mujeres mejoraron su marca en 3.000 metros (**figura 11**) en 1,1% y el VO_2 max en un 3%. No obstante, la mejora del VO_2 max sólo explicó un 23% de la variabilidad en la mejora de la marca en 3.000 m, lo que sugiere que factores adicionales a la mejora del VO_2 max con el entrenamiento en altura fueron responsables de las mejoras observadas en la marca en 3.000 m. Estos corredores tenían una concentración de hemoglobina en sangre de 13,3 g% (este valor es bajo, por lo que cabe esperar que aumente, simplemente debido al efecto conocido por regresión a la media) y tres días después de regresar del “campus de entrenamiento en altura” tenían 14,3 g%.

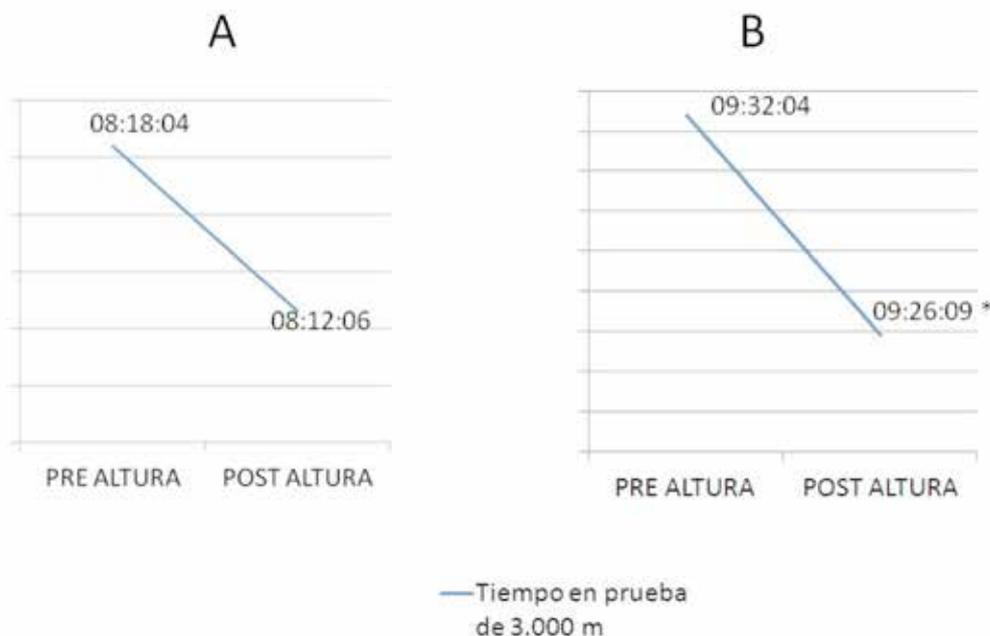


Figura 11: Rendimiento en la prueba de 3.000 metros en pista de atletismo en 26 corredores de élite, antes y después de ser sometidos a cuatro semanas de residencia a 2.500 m realizando los entrenamientos de alta intensidad a 1.250 m y los de baja y moderada intensidad a 2.000-2.800 m de altitud. Los corredores fueron testados inmediatamente después de los campeonatos nacionales de atletismo estadounidenses, un día antes del “campus” en altura y nuevamente tres días después de la finalización del “campus de entrenamiento en altura”. La gráfica A corresponde a la respuesta observada en los varones y la gráfica B a los efectos observados en las mujeres. (*) indica diferencias estadísticamente significativas con el rendimiento observado antes del campus. Adaptado de Stray-Gundersen y col., 2001.

Este estudio sugiere que la permanencia en altura y el entrenamiento en hipoxia moderada es muy eficaz para aumentar el rendimiento en competiciones de 3.000 y 5.000 metros en deportistas de nivel alto y en deportistas de élite.

No obstante, al carecer de grupo control no es posible diferenciar qué parte de la mejora en rendimiento es debida al entrenamiento *per se* y qué parte es debida a la altitud (residencia y entrenamiento en altura). Por otro lado, llama la atención que el incremento de la concentración de hemoglobina no se correlacionó con el incremento de $VO_2\text{max}$, cuando este tipo de correlación ha sido comunicado en los estudios en los que se ha observado un incremento del $VO_2\text{max}$ con autotransfusión.

Recientemente, el grupo dirigido por Carsten Lundby ha publicado el primer estudio en el que se ha sometido a un grupo de ciclistas de élite a dos tratamientos (placebo y LHTL) con protocolo de asignación *randomizada* y doble ciego. Los autores no observaron efectos sobre el rendimiento, $VO_2\text{max}$ o masa de hemoglobina que pudieran ser atribuidos a la estrategia LHTL. La principal explicación que se ha esgrimido es que los deportistas de élite que tienen niveles elevados de masa eritrocitaria no experimentan casi mejorías con la exposición pasiva a la hipoxia moderada. No obstante, los mismos autores han sugerido que los sujetos con niveles más bajos de masa eritrocitaria podrían experimentar mejoras en el $VO_2\text{max}$ y en el rendimiento deportivo con la estrategia LHTL.

Adaptaciones musculares al entrenamiento en altura

Otra razón que se ha aducido para defender el entrenamiento en altura se basa en las adaptaciones musculares inducidas por este tipo de entrenamiento. Algunos autores han observado aumentos más acusados de la actividad de las enzimas del metabolismo oxidativo y mioglobina al entrenar en hipoxia a la misma intensidad absoluta. Pero esto sólo es posible si la masa muscular sometida a entrenamiento es pequeña, ya que cuando la intensidad del esfuerzo es elevada no se puede mantener la misma intensidad absoluta de entrenamiento en hipoxia que en normoxia. Además, en atletas bien entrenados a nivel del mar antes de realizar el entrenamiento en altura, no se ve ningún efecto aditivo de la hipoxia sobre las adaptaciones enzimáticas y vasculares (capilarización) al entrenamiento de resistencia.

Por otro lado, en los seres humanos, especialmente en los entrenados, la capacidad oxidativa muscular excede a la capacidad de suministro de O_2 , por lo que si no aumenta la capacidad de suministro de O_2 es irrelevante que aumente la capacidad oxidativa muscular. También se ha defendido el entrenamiento en altura o la exposición a la hipoxia por sus efectos sobre la mioglobina muscular y la capilarización de las fibras musculares y las mitocondrias subsarcolémicas. Estos cambios deberían permitir aumentar la capacidad máxima de extracción de O_2 . Sin embargo, la capacidad máxima de extracción de O_2 es similar antes y después de la permanencia prolongada en altura, tal y como hemos observado en los participantes en la expedición del CMRC a Bolivia.

La capacidad de extracción de O_2 depende de múltiples factores, entre ellos: de la afinidad de la hemoglobina por el O_2 ; del gradiente de PO_2 entre los capilares y las mitocondrias; posiblemente, de la concentración de mioglobina; del tiempo medio de tránsito de la sangre a través de los capilares (si la sangre pasa muy rápido tiene menos tiempo para ceder el O_2 a los músculos), y de la densidad capilar (especialmente expresada como número de capilares que hay alrededor de cada fibra muscular). La afinidad de la hemoglobina por el O_2 disminuye al aumentar la concentración eritrocitaria de 2,3-DPG con la hipoxia, lo que debería facilitar la cesión de O_2 a nivel muscular; sin embargo, a alturas elevadas se produce alcalosis respiratoria que desplaza la curva de disociación de la hemoglobina hacia la izquierda, lo que facilita la captación alveolar de O_2 .

La combinación de los efectos del 2,3-DPG y de la alcalosis respiratoria deja la curva de disociación de la hemoglobina en una posición similar a la observada a nivel del mar. Además, cualquier efecto del 2,3-DPG desaparece en uno o dos días tras el regreso al nivel del mar. La densidad capilar expresada como número de capilares por fibra muscular no aumenta con la sola permanencia en altura, pero sí aumenta o se mantiene inalterada la densidad capilar expresada en número de capilares por mm^2 de sección muscular. Esto último no es debido a proliferación de nuevos capilares, sino a la atrofia de las fibras musculares. Este último fenómeno es muy frecuente en las expediciones a altitudes elevadas, aunque también se ha comunicado hipertrofia selectiva de los músculos de la pierna (pantorrilla).

Efectos de la hipoxia sobre la masa muscular

Normalmente el entrenamiento de fuerza se acompaña de hipertrofia muscular, que el caso de los músculos flexores del brazo ocurre en menos de un mes. La magnitud de la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento de fuerza y, por lo tanto, la ganancia de fuerza es menor en altitud.

¿Mejora la economía de movimiento con el entrenamiento o la permanencia en altitud? ¿Ofrece alguna ventaja el entrenamiento en altura para la mejora de la capacidad anaeróbica?

El entrenamiento de alta intensidad en altura se asocia a un aumento de la actividad de las enzimas glicolíticas y de la capacidad tampón. Sin embargo, la actividad de la bomba sodio-potasio y la reserva total de bicarbonato del organismo disminuyen. Con los modelos de entrenamiento utilizados en la actualidad no se ha podido demostrar claramente una superioridad del entrenamiento en altura o en condiciones de hipoxia para la mejora de la capacidad anaeróbica.

Los efectos del entrenamiento en hipoxia mientras se vive a nivel del mar sobre la capacidad anaeróbica no están claros. Un estudio reciente ha demostrado

un aumento de la potencia media (+7%) y máxima (+4%) después de 10 sesiones de entrenamiento en condiciones de hipoxia moderada (equivalente a 2.500 de altura) en triatletas de élite. Lo curioso de este trabajo es que los sujetos entrenaron un día durante 75 min y los 9 días siguientes durante 105 min a una intensidad relativa equivalente a un 60-70% de la frecuencia cardíaca (FC) de reserva –o sea, $FC_{\text{basal}} + 0,7 \times (FC_{\text{máxima}} - FC_{\text{basal}})$ –. Es decir, realizaron un entrenamiento típicamente aeróbico, pero mejoraron la potencia y la capacidad anaeróbica, mientras que el $VO_2\text{max}$ no experimentó cambios superiores a los observados con el mismo programa de entrenamiento aplicado a nivel del mar (**figura 12**). En cambio, en otro estudio en el que un grupo de nadadores de élite fue sometido a entrenamiento interválico de alta intensidad en hipoxia equivalente a 2.500 m de altitud no se constató ninguna ventaja a favor del entrenamiento en hipoxia en términos de rendimiento (100-400 m de nado libre) o capacidad anaeróbica (déficit máximo de oxígeno) sobre el entrenamiento en normoxia. No obstante, estudios realizados por Saltin han demostrado que la capacidad tampón muscular aumenta cuando los deportistas viven y entrenan en altura.

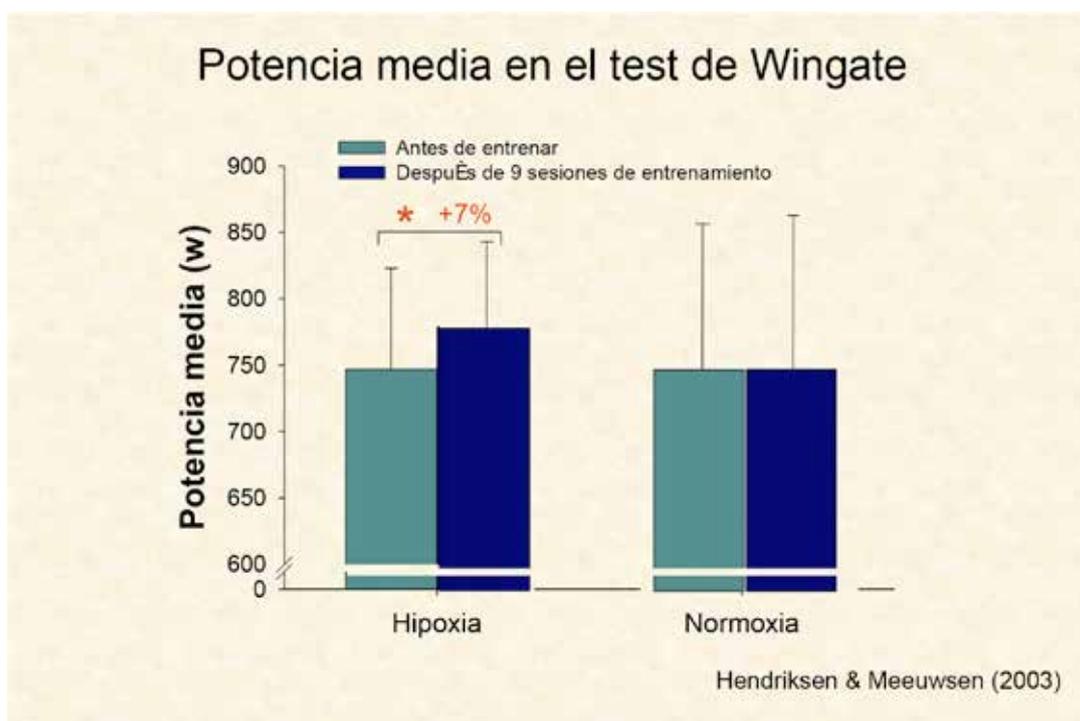


Figura 12: Efectos del entrenamiento de resistencia aeróbica en hipoxia moderada (equivalente a 2.500 m de altura) sobre la potencia media en el test de Wingate, que depende en un 80% de la capacidad anaeróbica.

En resumen, el entrenamiento en altura resulta claramente eficaz para aumentar el rendimiento deportivo cuando la competición se va a celebrar en altura en personas con bajo nivel previo o que no sean deportistas de élite.

Para mejorar el rendimiento a nivel del mar, la combinación de permanencia en altura (o altura simulada) con entrenamiento de alta intensidad a 1250 m y entrenamiento de moderada y baja intensidad entre 2.000 y 3.000 m ha originado mejores resultados en algunos estudios, pero no en todos. Las diferencias entre estudios podrían ser debidas al diferente nivel inicial de los sujetos incluidos en las investigaciones, al tiempo de exposición a la hipoxia, al grado de hipoxia utilizado, a la diferente sensibilidad de los sujetos a la hipoxia y al efecto placebo. Se necesitan más investigaciones para poder establecer definitivamente si el entrenamiento en altura puede ofrecer alguna ventaja al deportista que tiene que competir a nivel del mar en disciplinas de resistencia aeróbica. Son especialmente necesarias investigaciones con deportistas de élite.

En cualquier caso, hay que tener presente que la hipoxia puede resultar contraproducente al ocasionar cambios contrarios a los deseados, por lo que antes de decidir incluir estas técnicas en un programa de entrenamiento es conveniente sopesar las ventajas e inconvenientes, para, en función de la evolución de los trabajos científicos y de la propia experiencia de los entrenadores, adoptar la actitud más conveniente en cada caso.

Bibliografía

- CHAPMAN, R. F., STRAY-GUNDERSEN, J. y LEVINE, B. D., "Individual variation in response to altitude training". *Journal of Applied Physiology*, 1998, n.º 85: 1448-1456.
- HENDRIKSEN, I. J. y MEEUWSEN, T., "The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans". *European Journal of Applied Physiology*, 2003, n.º 88, pp. 396-403.
- LEVINE, B. D. y STRAY-GUNDERSEN, J., "'Living high-training low': effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance". *Journal of Applied Physiology*, 1997, n.º 83, pp. 102-112.
- ROBACH, P.; LAFFORGUE, E.; OLSEN, N. V.; DECHAUX, M.; FOUQUERAY, B.; WESTERTERP-PLANTENGA, M.; WESTERTERP, K., y RICHALET, J. P., "Recovery of plasma volume after one week of exposure at 4,350 m". *Pflugers Archiv*, 2002, n.º 444, pp. 821-828.
- STRAY-GUNDERSEN, J., CHAPMAN, R. F. y LEVINE, B. D., "'Living high-training low' altitude training improves sea level performance in male and female elite runners". *Journal of Applied Physiology*, 2001, n.º 91, pp. 1113-1120.

Figura 8: Esquema de los estudios llevados a cabo en 39 corredores universitarios por Levine y Stray-Gundersen (ver detalles en el texto) (Levine y Stray-Gundersen, 1997).

ENTRENAMIENTO DE UNIDADES ESPECIALES: MONTAÑA

Tcol. Alberto Ayora Hirsch
Escuela Militar de Montaña y Operaciones Especiales. Jaca (Huesca)

If you can fight and survive in the extremes of the Arctic, you can fight anywhere in the world. (“Si eres capaz de luchar y sobrevivir en los ambientes árticos extremos, serás capaz de hacerlo en cualquier lugar del mundo”).

La Escuela Militar de Montaña y de Operaciones Especiales (EMMOE) tiene como una de sus misiones la formación de cuadros de mando de nuestras unidades de montaña. Este tipo de unidades deben estar organizadas, equipadas y adiestradas para la vida, movimiento y combate en terrenos montañosos o en ambientes extremadamente fríos.

La aparición de nuevas amenazas de tipo asimétrico y de nuevos escenarios de actuación ha provocado conflictos donde el valor del obstáculo adquiere su máxima expresión: los terrenos montañosos, zonas de bosques, poblaciones o zonas de frío extremo son entornos difíciles que demandan la existencia de unidades ligeras y polivalentes, especialmente adiestradas para combatir en estas situaciones. Esto nos obliga a tener presentes teatros de operaciones donde la presencia habitual de climatologías extremas hace de las condiciones austeras un marco de actuación diario y de gran trascendencia en las acciones de planeamiento. Por ello, es fundamental conocer en detalle cuál va a ser el empleo táctico de nuestras unidades, tanto en montaña como en las condiciones de frío extremo más exigentes, con objeto de poder determinar cuál debe ser la preparación física, técnica y táctica requerida y así ofrecer una respuesta eficiente a esta clara dualidad de necesidades de especialización contempladas doctrinalmente: el medio montañoso y los ambientes de frío extremo.

La montaña constituye una excepcional escuela de mandos donde es habitual el fraccionamiento de las unidades, combatir aisladamente, tener que apreciar situaciones de extrema complejidad, evaluar peligros constantemente, tomar decisiones rápidamente y con total autonomía, y mantener la disciplina y la cohesión de la unidad en situaciones de máximo riesgo, forjándose líderes y unidades capaces de afrontar las situaciones más difíciles y comprometidas.

Además, las actividades relacionadas con la montaña entrañan una serie de peligros que no siempre son bien percibidos, lo que conlleva afrontar riesgos

que en ocasiones llevan a perder la vida. Este problema se ve incrementado en las actividades de montaña realizadas en ambientes extremos. El proceso de gestión del riesgo (**figura 13**) ayuda a desarrollar programas de instrucción y adiestramiento que enseñen a percibir de forma más precisa los riesgos inherentes a la actividad, ajustando dicha percepción a la realidad.

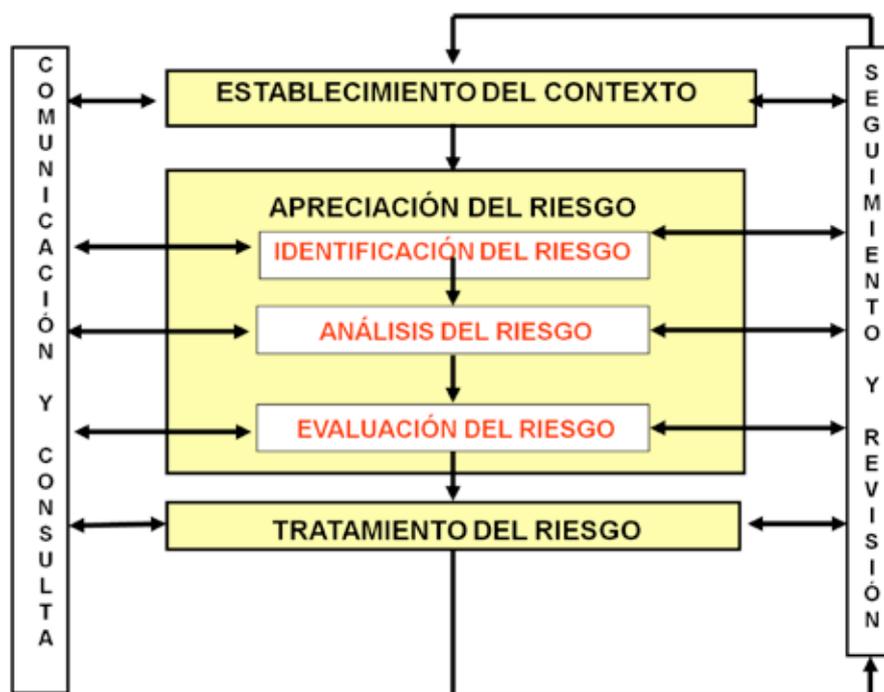


Figura 13: Proceso de gestión del riesgo. Fuente: AYORA, Alberto. Riesgo y liderazgo. Cómo guiar y planificar actividades en el medio natural. Ed. Desnivel, 2012.

Pero el factor que destaca y sobresale en este escenario es el factor humano. El combatiente en montaña no solo debe ser hábil en las técnicas de esquí o de escalada, sino que debe tener las habilidades de pensamiento necesarias para ser capaz de resolver los distintos problemas que se le planteen en condiciones extremas. De especial relevancia será el conocimiento que tenga de sus propias posibilidades, de lo que está capacitado y de lo que no está, para que sepa tomar las decisiones más oportunas en cada momento, dando solución a los problemas que se planteen de la forma más satisfactoria.

Proyecto de investigación “Deterioro neurocognitivo en altitudes extremas y su relación con hallazgos en pruebas de diagnóstico por imagen”

La experiencia en la realización de expediciones del Grupo Militar de Alta Montaña (GMAM) a las cordilleras más elevadas del planeta y la inquietud de la Escuela Militar de Montaña y Operaciones Especiales por la prevención de

accidentes en montaña han llevado a desarrollar un proyecto de investigación conjunto con el Departamento de Psicología y Sociología de la Universidad de Zaragoza y la Unidad Mixta de Investigación del Hospital Clínico Universitario-Universidad de Zaragoza sobre el “Deterioro neurocognitivo en altitudes extremas”, así como a profundizar en las medidas preventivas a tener en cuenta para disminuir, en la medida de lo posible, los efectos producidos por la hipoxia. Como toda investigación, parte de unas hipótesis iniciales e intenta, básicamente, dar respuesta a tres preguntas:

- ¿Qué habilidades del pensamiento se encuentran afectadas por los posibles deterioros neurocognitivos producidos en altitud debidos a la hipoxia?
- ¿Qué relación existe entre los posibles deterioros neurocognitivos y los hallazgos patológicos encontrados en las resonancias magnéticas cerebrales (RMf)?
- ¿Qué podemos hacer para desarrollar habilidades del pensamiento en los alpinistas que les ayuden en la resolución de problemas en altitudes extremas?

Las conclusiones de la investigación provienen de la recogida de datos a lo largo de tres años en los intentos de ascensión a tres de los catorce ochomiles del planeta: Manaslu (8.163 m), Makalu (8.463 m) y Gasherbrum II (8.035 m); no son, por tanto, resultado de un único estudio en un momento puntual. Nos podemos considerar “afortunados” al poder investigar con tres expediciones en las que los montañeros se movían por altitudes superiores a los 5.500 m.



Figura 14: Expedición al pilar oeste del Makalu, 2005 (Colección GMAM).

A efectos de comparación, siempre se han aplicado las pruebas por encima de los 5.500 m. Hemos tomado esta altitud en el planteamiento inicial de nuestra investigación, ya que se considera que por encima de dicha altitud es prácticamente imposible vivir de manera permanente, manifestándose deterioros fisiológicos evidentes (Richalet y Herry, 2006), de ahí la consideración de altitud extrema. En nuestra investigación, y atendiendo a los lógicos criterios de seguridad y comodidad de los montañeros, se aplicaron las pruebas en las expediciones Manaslu-2004, Makalu-2005 y Gasherbrum II-2006 a 5.800, 6.200 y 6.000 m. respectivamente (todas ellas superiores a los 5.500 m) (**figura 14**).

En la expedición Manaslu-2004 se aplicaron las pruebas Luria-DNA y DAT. La primera se administró a los sujetos experimentales solamente antes y después de la expedición (no durante), dado que es una prueba compleja de utilizar en altitud dada su extensión (duración de unos 40 minutos para un investigador bien entrenado) y ser de aplicación individual. La prueba DAT no se empleó en el momento 1 (antes de la expedición) para evitar el cansancio por la acumulación de pruebas. Entendimos que la medición en los tres siguientes momentos, y dado que siempre contábamos con un grupo de control, nos podría aportar datos relevantes para nuestro estudio, como fue el caso.

Respecto a las dos siguientes expediciones, Makalu-2005 y Gasherbrum II-2006, se emplearon respectivamente las pruebas DAT y DAT-5 en cada uno de los momentos de nuestro estudio. Tras la aplicación a los sujetos experimentales de nuestro estudio de estas pruebas psicológicas, hemos recogido una gran cantidad de datos que, tras su adecuado análisis estadístico, nos muestran sin lugar a dudas que la exposición a altitudes extremas sin ayuda de oxígeno conlleva un deterioro significativo en las habilidades del pensamiento de los alpinistas. Una vez realizada la discusión de los resultados, y considerando los objetivos planteados al inicio de la misma, se llegó a las siguientes conclusiones extraídas de la tesis doctoral de Javier Aceña Medina *Deterioro de las habilidades del pensamiento en altitudes extremas*.

Tras el análisis y evaluación de los datos recogidos a lo largo de los tres años que duró la investigación, los resultados obtenidos sustentan nuestra hipótesis de que la exposición a la hipoxia debido a la permanencia en altitudes extremas (por encima de los 5.500 metros desde el nivel del mar) y sin ayuda de oxígeno suplementario causa un deterioro significativo en las habilidades del pensamiento de los alpinistas que se ven expuestos a este tipo de situación. No obstante, hay que hacer notar que, aunque en general las diferencias son evidentes en la mayoría de las habilidades, hay otras en las que no se apreciaron tales diferencias, o estas no fueron tan claras.

Los deterioros más evidentes se han observado cuando las pruebas se han realizado en altitud (momento 2 de nuestra investigación). A partir de los 5.800

metros de altitud (altitud mínima de observación para nuestro estudio y que realizamos durante la expedición Manaslu-2004), la disminución en el rendimiento de las pruebas fue claramente significativo.

Al hilo de otros estudios, se ha evidenciado igualmente que los efectos negativos debidos a la exposición a altitudes extremas han persistido unos días después de regresar de la expedición (momento 3 de nuestra investigación).

Transcurridos seis meses desde el regreso de la expedición (momento 4 de nuestra investigación), las habilidades se recuperan por completo, lo que sugiere que los efectos de la hipoxia no son duraderos, salvo por repetidas y prolongadas exposiciones a esas condiciones que puedan dar lugar a daños neuronales evidentes y crónicos.

Los resultados ponen de manifiesto que, de todas las áreas y funciones cognitivas evaluadas, parece ser que las más afectadas por los efectos de la hipoxia han sido las relacionadas con la capacidad de razonamiento abstracto (AR), razonamiento verbal (RV), razonamiento espacial y memoria inmediata (MI). Se observan igualmente deterioros, aunque sin tanta claridad, en la percepción verbal (PV), orientación espacial (OE) y dibujos temáticos y textos (DT). No se aprecian, finalmente, limitaciones cognitivas importantes respecto a las pruebas de razonamiento numérico (NR) y mecánico (MR). El hecho de no haber constatado diferencias significativas en la capacidad de razonamiento mecánico (MR) de los montañeros nos hace pensar que sus habilidades mecánicas se encuentran preservadas para la realización óptima de aquellas acciones y situaciones en las que este tipo de razonamiento sea necesario para un buen rendimiento en altitud. Es posible que a mayor altitud, y afectados por una hipoxia extrema, los montañeros puedan empezar a tener problemas importantes en su capacidad de razonamiento mecánico (problemas a la hora de equipar vías de escalada, utilización de poleas, descensores, puntos de apoyo, etc).

Debido a los deterioros mencionados en el punto anterior, causados por la exposición a altitudes extremas, se producirá un mayor riesgo de cometer errores e imprecisiones y, como consecuencia de ello, las posibilidades de sufrir algún percance o accidente se multiplican.

Un sistema de entrenamiento eficiente para ambientes extremos

Este último punto subraya la importancia de llevar a cabo, y más en ambientes extremos, una adecuada planificación que no deje margen a la improvisación, puesto que no debe olvidarse que estos errores e imprecisiones en muchas ocasiones tienen su origen en los estados iniciales del proceso de toma de decisiones.

Es por todo ello que en un centro de enseñanza de reconocido prestigio como es la EMMOE, y que actúa en ambientes extremos diariamente, consideramos

que uno de los objetivos fundamentales para garantizar el mayor grado de seguridad posible en nuestras actividades es intentar conseguir el estándar de “Organización de Alta Fiabilidad”; entendido como el que se concede a aquellas organizaciones profundamente preocupadas, sensibilizadas y concienciadas en la minimización de los accidentes.

Esto conlleva tener presente en todo momento unos principios fundamentales, que se desglosan en unos principios enfocados hacia la anticipación:

- Alta sensibilidad hacia los errores. Cualquier mínimo error por intrascendente que parezca debe ser analizado.
- Reticencia a simplificar ante un incidente o accidente. Jamás achacarlo a la mala suerte ni quedarse en la explicación de la causa más obvia y aparente.
- Sensibilidad a nivel de los “operarios de primera línea”. Es decir, tener siempre presente los comentarios e impresiones de los alumnos y profesores que están implementando sobre el terreno nuestros planes de instrucción.

Y unos principios enfocados hacia la contención:

- Compromiso con la *resiliencia*. Estar en disposición de actuar eficientemente ante un acontecimiento inesperado e integrar las lecciones aprendidas del mismo.
- Deferencia ante la pericia práctica. Apoyarse en personal experto y tener máxima preocupación por la formación continua.

En esta línea, una herramienta que ha demostrado su utilidad en el Ejército de los Estados Unidos es *the Army’s eight-step training model* y que se resume en los puntos siguientes:

- Planificar el entrenamiento.
- Entrenar y certificar a los profesores.
- Reconocer previamente los lugares de actuación.
- Dar las órdenes por escrito.
- Ensayar.
- Ejecutar.
- Hacer un juicio crítico.
- Repetir el entrenamiento.

Siguiendo este procedimiento, y variando progresivamente los escenarios y condiciones de actuación, conseguiremos ir adaptándonos a diferentes situaciones e ir abandonando nuestra zona de confort para ir introduciéndonos con las debidas garantías en esa zona de reto y desafío que implica la preparación para entrenamientos extremos. Por ello, hay que:

- Repetir los ejercicios cuantas veces sean necesarias.
- Abordar con la conducta aprendida la mayor cantidad posible de situaciones distintas.

- Variar inesperadamente la situación en la ejecución.
- Planificar la ejecución primero en ambientes de trabajo ideales y después en otros más exigentes, cambiantes y amenazantes.

Teniendo estos puntos presentes, y jugando con el grado de supervisión necesario, conseguiremos ir ganando una mayor experiencia en todo tipo de escenarios, y no contaremos únicamente con “expertos rutinarios” (figura 15).



Figura 15: Cómo llegar a ser un experto. Fuente: AYORA, Alberto. Riesgo y liderazgo. Cómo guiar y planificar actividades en el medio natural. Ed. Desnivel, 2012.

ENTRENAMIENTO PARA PERSONAL DE VUELO

Carlos Velasco Díaz
Centro de Instrucción de Medicina Aeroespacial

Volar: una actividad de riesgo. Breve recuerdo histórico

Volar es una actividad de riesgo que se desarrolla en un medio hostil para el que el ser humano no está adaptado. Sin embargo, desde la más remota antigüedad, poder controlar el medio aéreo, imitar lo que hacían los pájaros, se convirtió casi en una obsesión. Las narraciones chinas del los *Anales del libro de bambú*, el poema sumerio de Gilgamesh, los relatos bíblicos sobre Elías y Eliseo o la escapada de Dédalo e Ícaro desde el laberinto de Creta recogido en la *Metamorfosis* de Ovidio son alguna de las muestras que reflejan esos “sueños”. Sueños que empezarían a ser realidad con las cometas chinas o la paloma de Arquitas de Tarento, los primeros objetos voladores; que intentarían llevarse a la práctica, por lo que hoy sabemos, ya en el siglo I, como hizo Simón el Mago en tiempos de Nerón con catastrófico resultado, y que de una manera más científica harían Alberto Magno y Roger Bacon en la Edad Media, y el genial Leonardo en el Renacimiento, aunque no haya constancia de que ninguno de sus diseños llegase a plasmarse en algo que pudiera volar.

El hombre siempre ha buscado retos, y eso le ha hecho evolucionar. La “conquista” del aire no empezaría a alcanzarse hasta finales del siglo XVIII cuando los hermanos Montgolfier consiguieron elevar por los aires su primer globo.

A lo largo de todo el XIX se consiguió llegar cada vez más alto y más lejos, y enseguida se iniciaron las llamadas “ascensiones científicas” con las que los investigadores pretendían estudiar las características del medio atmosférico a diferentes niveles. La disminución de la presión barométrica con la altitud y, en consecuencia, de las presiones parciales de los gases que componen la mezcla gaseosa que conforma la atmósfera, las variaciones de temperatura y humedad relativa y, ya más adelante, cuando se consiguieron vuelos a cotas más altas, las variaciones en el nivel de radiación o en la cantidad de ozono pudieron ser científicamente establecidas.

Los globos aerostáticos evolucionaron, aparecieron los dirigibles, y paralelamente se fueron desarrollando “los más pesados que el aire”: primero los planeadores, con Otto Lilienthal como representante más célebre, y después los

que incorporaban un motor, con el Flyer de los hermanos Wright despegando de los arenales de Kitty Hawk en Carolina del Norte el 17 de diciembre de 1903.

Condiciones medio-ambientales y seguridad de vuelo

Las bajas presiones y su consecuente merma en la cantidad disponible de oxígeno, las temperaturas extremas, la baja humedad ambiental o el incremento de radiaciones ionizantes en altitud son problemas derivados directamente de las características del medio atmosférico que pueden incidir en el funcionamiento de los organismos vivos; pero además, el ser humano requiere de unos medios técnicos para volar, una aeronave más o menos sofisticada que le permita desplazarse por el medio aéreo. Para ello es precisa una adecuada integración del hombre con la máquina, pero de la misma se derivan consecuencias sobre piloto y tripulantes a partir del ruido, vibraciones, aceleraciones, etc.; por último, la propia actividad aeronáutica puede ser causante de cuadros de fatiga o alteraciones de los ritmos circadianos.

Todos estos problemas pueden disminuir la capacidad de actuación (*performance*) del piloto o tripulante y en consecuencia afectar a la seguridad de vuelo, seguridad que depende de las relaciones entre el hombre, el medio y la máquina. Es necesario tener en cuenta todos los posibles factores implicados en el vuelo para poder prevenir fallos o errores.

La medicina aeronáutica se centra en el *factor humano*, pero no basta con seleccionar al personal de vuelo descartando aquellos que padezcan anomalías o patologías que puedan desencadenar una incapacitación durante el vuelo o una disminución de la *performance* del piloto; es preciso, además de asegurar el mantenimiento del estado de salud del personal de vuelo, promocionarla y mejorarla en la medida de lo posible y entrenar a dicho personal para que sea capaz de tolerar las duras condiciones en las que deberá desarrollar su actividad.

Principales problemas médicoaeronáuticos que pueden condicionar la seguridad de vuelo

Como ya se ha indicado, los problemas médico aeronáuticos que pueden condicionar la seguridad de vuelo pueden derivar del propio medio ambiente (hipobaría, hipoxia, bajas temperaturas...), de los efectos derivados del funcionamiento de la máquina empleada en el transporte (aceleraciones, vibraciones...) o de las exigencias de la actividad desarrollada (fatiga, alteraciones circadianas...).

Los primeros problemas derivados de la altitud, identificados desde el comienzo de las ascensiones en globo, fueron las bajas temperaturas (un descenso

térmico de 2 °C cada mil pies) y la disminución de la presión barométrica (la tabla de la Figura 16 recoge las variaciones de presión y temperatura con la altitud), con dos tipos de problemas asociados:

	Altitud		Presión		Temperatura
	ft	m	mm Hg	lb/in ²	°C
	0	0	760	14.70	+15.0
	1 000	305	733	14.17	+13.0
	2 000	610	706	13.67	+11.0
	3 000	914	681	13.17	+ 9.1
	4 000	1 219	656	12.69	+ 7.1
	5 000	1 525	632	12.23	+ 5.1
	6 000	1 829	609	11.78	+ 3.1
	7 000	2 134	586	11.34	+ 1.1
	8 000	2 438	565	10.92	- 0.9
	9 000	2 743	543	10.50	- 2.8
	10 000	3 048	523	10.11	- 4.8
Fase indiferente	11 000	3 353	503	9.72	- 6.8
	12 000	3 658	483	9.35	- 8.8
Fase compensadora	13 000	3 962	465	8.98	-10.8
	14 000	4 267	447	8.63	-12.7
	15 000	4 572	429	8.29	-14.7
	16 000	4 879	412	7.97	-16.7
Fase de manifestaciones clínicas	17 000	5 182	395	7.64	-18.7
	18 000	5 486	380	7.34	-20.7
	19 000	5 791	364	7.04	-22.6
	20 000	6 096	349	6.75	-24.6
Fase crítica	21 000	6 401	335	6.48	-26.6
	22 000	6 706	321	6.21	-28.6
	23 000	7 010	307	5.95	-30.6
	24 000	7 315	294	5.70	-32.6
	25 000	7 620	282	5.45	-34.5
	26 000	7 925	270	5.22	-36.5
	27 000	8 230	258	4.99	-38.5
	28 000	8 534	247	4.78	-40.5
	29 000	8 839	236	4.57	-42.5
	30 000	9 144	226	4.36	-44.4

Figura 16: Variaciones de presión y temperatura con la altitud.

- Los directamente relacionados con los efectos mecánicos de los cambios de presión sobre los seres vivos, lo que se conoce como disbarismos.
- Los derivados de la disminución proporcional de las presiones parciales de los gases que componen la mezcla atmosférica, destacando, por su interés fisiopatológico, la disminución del número de moléculas disponibles de oxígeno en el aire inspirado y su consecuente hipoxia.

El problema de la hipotermia motivada por las bajas temperaturas ambientales se empezó a combatir proporcionando a los tripulantes aéreos prendas de vestir que les protegieran convenientemente. Posteriormente, los sistemas de calefacción y climatización de las aeronaves consiguieron ambientes de cabina suficientemente confortables como para poder prescindir de aquellas prendas, que a veces hacían que el equipo resultara sumamente incómodo. Sin embargo, en caso de despresurización el riesgo de hipotermia sigue estando presente (ver tabla 1), de manera que si tal situación se diera el piloto debería bajar cuanto antes a las cotas más bajas posibles y tomar tierra tan pronto como pudiera. En algunos tipos de misiones aéreas sigue siendo de primordial importancia la selección del equipo de protección personal relacionado con la temperatura ambiental.

En cuanto a los problemas derivados de las bajas presiones, por un lado es preciso asegurar un aporte suficiente de oxígeno al tripulante que prevenga la temible hipoxia capaz de provocar la incapacitación en cuestión de segundos, y por otro evitar las consecuencias de los efectos mecánicos provocados por la dilatación de gases en cavidades cerradas del organismo (barotraumatismos) y la formación de burbujas de nitrógeno en líquidos y tejidos corporales (enfermedad descompresiva)

Todos estos problemas derivan del comportamiento de los gases contenidos en los organismos vivos cuando las presiones medioambientales se modifican. La presurización adecuada de las aeronaves puede prevenir todos estos problemas; así, en tanto se mantengan presiones de cabina equivalentes a las presiones ambientales encontradas a altitudes inferiores a los 18.000 pies, prevendremos la formación de burbujas de gas en los tejidos corporales y por tanto la enfermedad descompresiva, siempre que esos tripulantes no se hayan expuesto a condiciones hiperbáricas (actividades subacuáticas, por ejemplo) en las horas previas. Si además mantenemos una presión de cabina equivalente a cotas inferiores a los 10.000 pies, estaremos asegurando un aporte de oxígeno en el aire inspirado suficiente para que cualquier individuo sano consiga oxigenar todos sus tejidos de una manera adecuada, evitando así el riesgo de hipoxia. Si por último se consigue que los cambios de presión en la cabina se hagan de forma gradual, sin que se produzcan variaciones bruscas, estaremos permitiendo que los gases encerrados en oído medio, senos paranasales o tracto digestivo puedan circular a través de sus conexiones con el exterior y evitaremos la aparición de problemas barotraumáticos.

Pero, naturalmente, estas situaciones no siempre se consiguen dentro de los rangos ideales y siempre pueden darse incidentes, problemas técnicos o escenarios que expongan a dichos tripulantes a condiciones medioambientales más o menos extremas. Es fundamental que aquellos individuos que vayan a tener la posibilidad de encontrarse en esas condiciones conozcan de antemano los efectos que tal exposición puede tener sobre su organismo y aprendan las técnicas y métodos que les permitan resistir y sobrevivir a tales circunstancias. Este entrenamiento se conoce en el campo aeronáutico como “entrenamiento fisiológico” o “entrenamiento aeromédico”.

También desde los primeros momentos de la historia de la aeronáutica, especialmente desde que empezaron a utilizarse los “más pesados que el aire”, capaces de desplazarse a velocidades considerables, comenzaron a advertirse problemas derivados de la interacción entre esa máquina y sus ocupantes: se trataba de los primeros problemas biodinámicos. Conforme las capacidades de maniobra de las aeronaves y las velocidades y aceleraciones alcanzadas fueron incrementándose, los problemas biodinámicos también lo hicieron. Dos tipos de fenómenos podemos incluir aquí:

- Los derivados de la integración inadecuada de las informaciones recibidas a través de los órganos sensoriales implicados en la orientación espacial sobre posición y movimiento (fenómenos de desorientación espacial).
- Los derivados de los efectos hemodinámicos y de aumento de peso provocados por las altas aceleraciones a que en determinadas circunstancias las modernas aeronaves pueden someter a sus ocupantes.

Los problemas relacionados con la desorientación espacial pueden darse prácticamente con cualquier tipo de aeronave y constituyen la principal causa entre las que tienen una base fisiopatológica implicada en los accidentes aéreos. Es fundamental que los pilotos tengan un conocimiento suficiente de por qué se producen estos fenómenos y cómo se pueden evitar. En cuanto a los relacionados con la exposición a altas aceleraciones, son especialmente importantes en determinados tipos de actividades aeronáuticas: la aviación de caza y la acrobacia aérea. Aquellos pilotos que desarrollen estas actividades requieren un entrenamiento especial.

Bases preventivas en seguridad de vuelo: Selección, formación, supervisión

Aquello de “más vale prevenir que tener que lamentar después” es absolutamente cierto en el mundo aeronáutico. El seguimiento constante de los problemas derivados de la actividad aeronáutica, con el análisis de los factores concurrentes en los incidentes y accidentes aéreos, es la base en la que apoyarse para aprender de lo vivido y evitar que determinadas circunstancias con tristes desenlaces puedan volver a repetirse.

Podemos resumir la base de la prevención en tres palabras: *selección, formación y supervisión*.

1. *Selección* adecuada del personal y del material que se va a utilizar en función del tipo de actividad a que va destinado. En lo que a factor humano se refiere, nos centraremos en la adecuada selección del personal teniendo en cuenta las aptitudes psicofísicas que debe reunir el piloto o tripulante en función del tipo de aeronave y del tipo de misión que va a desarrollar. No es lo mismo volar un avión de caza que un helicóptero dedicado a actividades SAR, un avión de transporte, uno de vigilancia marítima... Las demandas de cada misión y las interacciones hombre-máquina son distintas.
2. Si la selección es importante, la *formación* no lo es menos, y esta formación ha de reunir conocimientos teóricos y prácticos y un entrenamiento adecuado que abarque aspectos técnicos (vuelo en simuladores y vuelo real), físicos, ya que una forma física adecuada es primordial en el personal de vuelo para aumentar su tolerancia frente a la exposición a esos ambientes extremos a los que se va a enfrentar, y lo que ya hemos llamado entrenamiento fisiológico,

sometiendo a este personal a situaciones similares a las que encontrará en vuelo real con un doble objetivo:

- Que conozca los efectos que la exposición a esos ambientes tendrá sobre su organismo, y en vuelo real pueda reconocer esos síntomas y en consecuencia deducir qué es lo que está pasando (despresurización, desorientación espacial, altas Gs, etc.).
 - Que sepa qué medidas tomar para salir lo mejor posible de esa situación y evitar el accidente.
3. La *supervisión* completará las medidas preventivas mediante el control periódico de esas aptitudes psicofísicas, de la forma física y del grado de entrenamiento de pilotos y tripulantes.

Entrenamiento del personal de vuelo: Técnico, fisiológico y físico

Tres son las áreas que comprenden el entrenamiento específico del personal de vuelo:

Por una parte, está el entrenamiento puramente técnico, los conocimientos del manejo de la aeronave y de todos los equipos y sistemas que le permitan controlarla con los máximos niveles de seguridad. Se incluye aquí tanto el entrenamiento en vuelo real como el que permiten los magníficos simuladores que hoy existen.

En segundo lugar, está el entrenamiento quizá más específico de este personal, diseñado para simular aquellas condiciones medioambientales que puede encontrar durante el vuelo real y que pueden poner en peligro su estado de salud o su capacidad de actuación. Es lo que reiteradamente hemos llamado “entrenamiento fisiológico” y que en estos momentos abarca:

- Entrenamiento en altitud, simulando las condiciones de bajas presiones encontradas en las capas atmosféricas altas. Para ello se utilizan cámaras hipobáricas.
- Entrenamiento en desorientadores espaciales que permiten provocar diferentes tipos de ilusiones sensoriales (visuales, propioceptivas, vestibulares) como las que pueden ocasionarse durante el vuelo real.
- Entrenamiento en ambiente de altas aceleraciones, para lo que se utilizan centrífugas humanas que pueden exponer a su ocupante a aceleraciones que multipliquen por 3, 6 o hasta 9 veces la fuerza de atracción de la gravedad.
- Entrenamiento en ambiente de visión nocturna, que simula las condiciones visuales en vuelo nocturno y enseña a utilizar eficazmente los sistemas de visión nocturna imprescindibles en este tipo de actividad.

El entrenamiento en cámaras hipobáricas pretende familiarizar al tripulante con el ambiente de baja presión que puede encontrar durante el vuelo, especialmente si durante el mismo se produjera una despresurización. Se trata de que reconozca e identifique los síntomas que se producen en su organismo por efecto de esas bajas presiones y que, como ya se ha dicho, pueden ser de tipo mecánico (expansión de gases con molestias en oídos, senos paranasales y tracto digestivo) o derivados de la disminución de la cantidad de oxígeno disponible y la consecuente hipoxia. Es fundamental que el tripulante sea capaz de identificar los síntomas iniciales de hipoxia, ya que es entonces cuando puede reaccionar conectándose al equipo de oxígeno. Asimismo se les enseña a realizar maniobras de apertura tubárica, como la maniobra de Valsalva, que permitan la igualación de presiones en oído medio e impida o minimice los problemas barotraumáticos.

También se simulan situaciones de descompresión rápida para que experimenten la situación física que en tal caso se produciría en vuelo, identifiquen el problema y aprendan a reaccionar con eficacia.

Las figuras 17 y 18 recogen diferentes perfiles de entrenamiento en cámaras hipobáricas. La del CIMA actual aparece en la figura 19.

El entrenamiento en desorientadores espaciales (en la figura 20 aparece el que actualmente está en uso en el CIMA) pretende enseñar a los tripulantes que sus

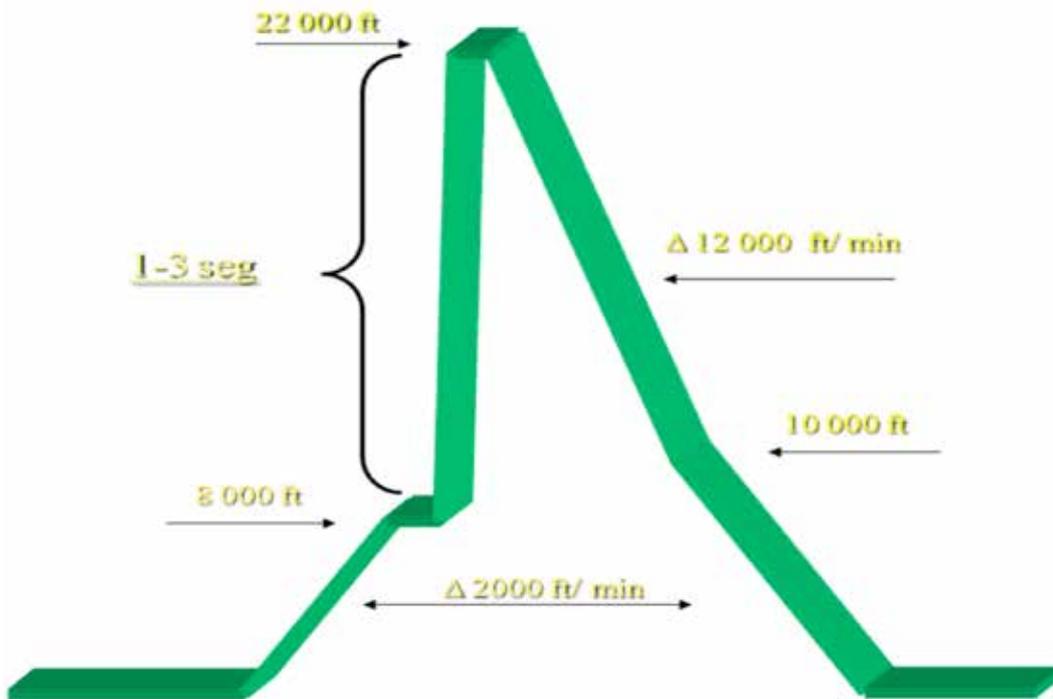


Figura 17: Perfil de entrenamiento en cámara hipobárica: descompresión rápida.

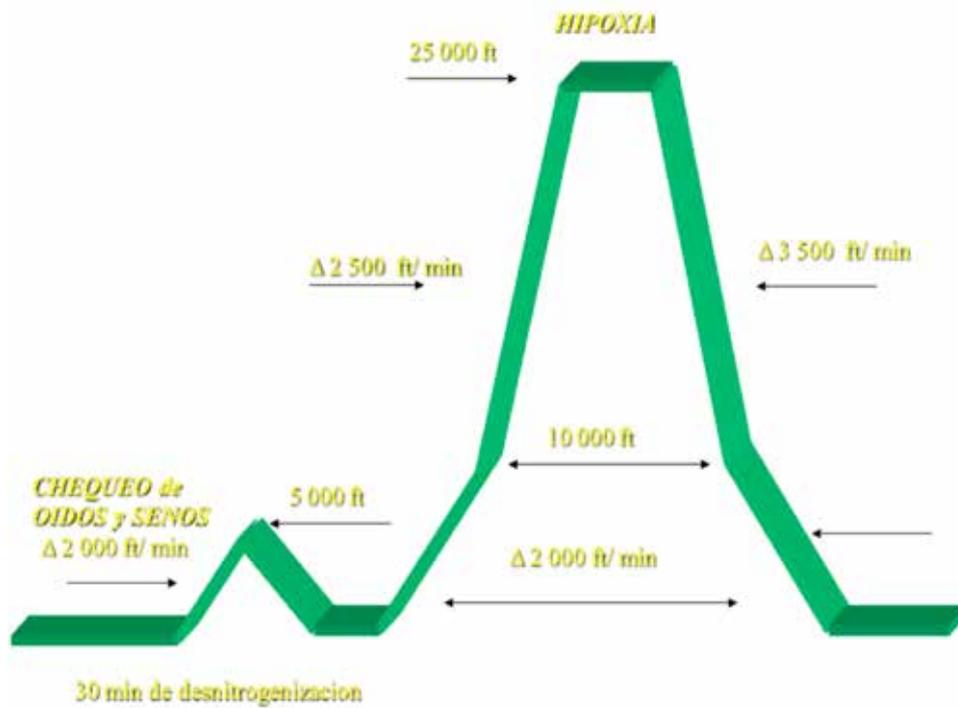


Figura 18: Perfil de entrenamiento en cámara hipobárica: tipo I con prueba de hipoxia a 25.000 pies.



Figura 19: Cámara hipobárica o de baja presión del Centro de Instrucción de Medicina Aeroespacial (CIMA).



Figura 20: Desorientador espacial del Centro de Instrucción de Medicina Aeroespacial (CIMA).

sistemas sensoriales no siempre le van a transmitir la realidad, demostrarles diferentes tipos de ilusiones sensoriales y convencerles de la importancia que tiene conocer los instrumentos de vuelo y confiar en ellos para su toma de decisiones. Las principales ilusiones que pueden aparecer en vuelo pueden ser de tipo visual o tener su origen en el sistema vestibular o en el propioceptivo.

El impresionante desarrollo de la tecnología en los últimos treinta años llevó al diseño de aeronaves con una enorme maniobrabilidad, capaces de alcanzar aceleraciones lineales, radiales y angulares que multiplicaban por 10, 12 o 20 veces la fuerza gravitoinercial terrestre. Hasta ese momento “pasar de Gs” un avión, es decir, someterle a determinado nivel de aceleración, implicaba romper literalmente el avión, cuyos materiales y diseño no soportaban ese número de Gs; los avances en la ingeniería aeronáutica y la incorporación de nuevos materiales convirtieron al piloto en el elemento más débil del binomio hombre-máquina. Si se quiere sacar rendimiento a una máquina de estas características, es preciso entrenar a su tripulante de manera que pueda alcanzar una tolerancia adecuada. Esto implica dos tipos de entrenamiento:

- Uno fisiológico, exponiéndole en un ambiente simulado y controlado al entorno de altas Gs para que aprenda a realizar determinado tipo de maniobras que aumenten su tolerancia a esas altas aceleraciones y no le lleven a una pérdida de conocimiento –y, en consecuencia, del control del avión– debido a los efectos hemodinámicos del desplazamiento de sangre en su cuerpo cuando la fuerza gravitoinercial aumenta.
- Otro puramente físico que le permita aumentar la eficacia de las contracciones de su sistema muscular cuando deba utilizarse para evitar el desplazamiento hemático por su organismo, evitando que la sangre “se caiga literalmente a los pies” al exponerse a nueve veces la fuerza de la gravedad.

El entrenamiento fisiológico se lleva a cabo en centrífugas humanas (Figura 21) que simulan el nivel de aceleración a que un avión de caza puede someter a su tripulante y permiten, de manera controlada y supervisando al piloto, enseñarle las maniobras adecuadas, tanto de respiración como de contracción muscular isométrica de músculos abdominales y del tren inferior, que le lleven a aumentar su tolerancia frente a ese ambiente tan extremo.

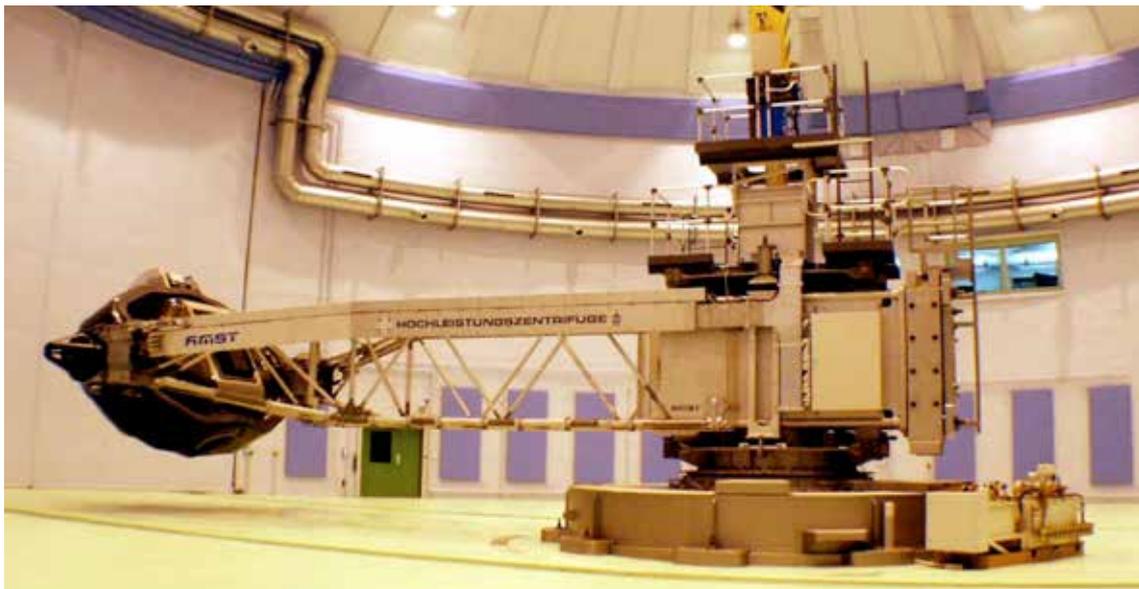


Figura 21: Centrífuga humana de la B. A. de Königsbrück (Alemania).

Por último, el entrenamiento físico busca el desarrollo muscular más adecuado para el tipo de actividad que ese piloto o tripulante deberá realizar. Una buena forma física es imprescindible para el personal de vuelo si queremos que sea realmente eficaz y seguro, y esa forma física se sustenta sobre tres pilares:

- Una nutrición adecuada que aporte todos los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de ese organismo en función de las demandas a que esté sometido.

- Unos ciclos de actividad y descanso adecuados que prevengan la fatiga.
- Un entrenamiento físico adecuado al tipo de actividad que ese individuo vaya a realizar.

Son conocidos los efectos beneficiosos del ejercicio físico y la actividad deportiva, que se resumen en la Figura 22, pero también es cierto que un entrenamiento inadecuado puede ser perjudicial y que determinadas actividades deportivas conllevan unos riesgos de lesiones importantes, todo lo cual debe tenerse muy en cuenta a la hora de programar la actividad física del personal aeronáutico para evitar los riesgos de una pérdida de su aptitud de vuelo derivada de las lesiones o de sus secuelas.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que a la hora de establecer un programa de entrenamiento físico, este debe ser específico, esto es, orientado hacia el tipo de actividad que se quiere mejorar, individualizado en función de la forma física previa, edad, etc., progresivo y mantenido en el tiempo, ya que el cese de su práctica lleva a un descondicionamiento físico.

Como es conocido, se puede hacer una clasificación del ejercicio físico en aeróbico y anaeróbico en función del tipo de fibras musculares implicadas en el mismo y del tipo de metabolismo que las mismas desarrollan. Las fibras aeróbicas, también llamadas rojas o tipo I, son las que intervienen en esfuerzos prolongados (ejercicios de resistencia) y permiten contracciones lentas y mantenidas, mientras que las fibras blancas, de contracción rápida o tipo II, intervienen en esfuerzos intensos pero poco mantenidos, permitiendo contracciones potentes pero de corta duración. En función de los resultados que busquemos (especificidad del entrenamiento), deberemos establecer programas de entrenamiento con una carga más aeróbica o más anaeróbica. Conviene recordar que un entrenamiento básicamente aeróbico llevará asociado una serie de modificaciones sistémicas significativas, especialmente en los sistemas respiratorio, cardiovascular y hemático, mientras que el anaeróbico se centrará más en la tonificación muscular y en el aumento de la fuerza y la potencia.

Podríamos finalizar resumiendo que en relación con el entrenamiento físico del personal de vuelo, este debe:

➤ FÍSICOS

- Cardiovasculares
- Respiratorios
- Sistema locomotor
- Metabólicos

➤ PSICOLÓGICOS

- Estado de ánimo
- Tolerancia al estrés

➤ SOCIOLÓGICOS

- Trabajo en equipo

Figura 22: Efectos beneficiosos derivados del entrenamiento físico.

- Estar adaptado al tipo de actividad aérea, ya sea caza, transporte, etc. (específico).
- Ser dirigido y personalizado, con una monitorización adecuada (progresivo, mantenido, individualizado).
- Contar con la formación adecuada del personal que lo realice.
- Contar con facilidades para el desarrollo efectivo de los programas de entrenamiento.
- Evitar aquellas actividades deportivas con alto riesgo de producir lesiones que puedan llevar a la pérdida de la aptitud de vuelo por sí mismas o por las secuelas que puedan dejar.

Siguiendo estos principios y como puntos generales, se podría decir que los pilotos de aviación de transporte y helicóptero deberían desarrollar entrenamientos básicamente aeróbicos, buscando el refuerzo de la musculatura paravertebral (especialmente en región lumbosacra y cervical) y abdominal, en particular los de helicóptero; mientras que los pilotos de caza, expuestos a ambientes de altas aceleraciones que deben realizar maniobras anti-G, deben someterse a un programa que incluya el entrenamiento anaeróbico centrado especialmente en aquellos grupos musculares que más van a intervenir en las mencionadas maniobras anti-G (tren inferior y abdominales), sin olvidar el fortalecimiento de la musculatura cervical y paravertebral, sobre una base de entrenamiento aeróbico suave. El entrenamiento aeróbico intenso estaría contraindicado en este personal por las modificaciones cardiovasculares adaptativas que conlleva (bajadas de tensión arterial y enlentecimiento del ritmo cardíaco).

Aquellas actividades deportivas que conlleven una asimetría en el desarrollo de grupos musculares o aquellas que generan vibraciones o impactos repetitivos sobre la columna no serían las más aconsejables para el personal de vuelo.

Y para finalizar, no olvidemos que el entrenamiento en grupo y los deportes de equipo potencian el trabajo en equipo y favorecen la coordinación, la participación efectiva, el liderazgo, la asunción de roles, etc., todas ellas cualidades necesarias en el colectivo aeronáutico.

ENTRENAMIENTO SUBACUÁTICO: INMERSIONES DE GRAN PROFUNDIDAD

Agustín Olea González
Comandante médico
Especialista militar en Medicina Subacuática e Hiperbárica
Centro de Buceo de la Armada

Introducción

La práctica del buceo supone la exposición del organismo del buceador a un medio ambiente que presenta unas características diferenciales respecto al medio ambiente atmosférico. Estas diferencias son:

Incremento de la presión

Este incremento de la presión se materializa de forma práctica considerando 1 atmósfera por cada 10 metros de profundidad que alcance el buceador, de tal forma que si un buceador se sumerge a una profundidad de 30 metros la profundidad relativa o hidrostática será de 3 atmósferas, mientras que la presión absoluta que soporta el buceador es de 4 atmósferas resultado de sumar a la presión relativa la presión atmosférica, cuyo valor es 1.

El efecto de este aumento de presión supone una serie de cambios orgánicos y a nivel de la mezcla respiratoria. Estos cambios van a estar regulados por dos leyes físicas:

- La Ley de Boyle: “A temperatura constante, el volumen de un gas varía de forma inversa a la presión absoluta, mientras que la densidad del gas varía de forma directa a la presión absoluta”. Mediante esta ley podemos explicar la patología barotraumática, que serían todos aquellos trastornos ocasionados por los cambios de volumen aéreo contenido en las cavidades ventiladas de nuestro organismo cuando se produce una variación en la presión ambiental (1) y la dificultad respiratoria que experimenta el buceador conforme incrementa su profundidad, debido esto último al aumento en la densidad de la mezcla respiratoria y que condicionará tanto su estancia en ambientes hiperbáricos como su capacidad para realizar las tareas físicas subacuáticas.
- La ley de Dalton: “La presión ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales que serían ejercidas por cada uno de los ga-

ses si estuvieran aislados y ocuparan el volumen total”. La aplicación práctica de esta ley determina la máxima profundidad a la que puede ser respirada una mezcla gaseosa sin que los gases que la compongan alcancen rangos tóxicos para el buceador.

Entrada en un medio hipotermo que va a condicionar el empleo de un equipo protector adecuado

Debemos recordar que el agua tiene una conductividad térmica 32 veces superior al aire y un alto calor específico. La inmersión en agua de mar va a suponer una pérdida de calor corporal ocasionada por un mecanismo de conducción –contacto directo–, y por un mecanismo de convección –movimiento de la masa de agua alrededor de la superficie corporal–; este mecanismo está incrementado por la actividad muscular y por el propio temblor del buceador (2). En el caso específico del buceo, existe un tercer mecanismo de pérdida de calor: la evaporación (3,4), pérdida de calor producida durante la respiración para el calentamiento de la mezcla respiratoria a presión contenida en las botellas de buceo.

En función de lo anterior, durante las inmersiones en medio acuático se deben controlar tanto los factores que desencadenan la hipotermia –temperatura del agua y duración de la inmersión– como los procesos de conducción y convección que favorecen la pérdida de calor por parte del buceador y que se controlarán con la adecuada elección del traje de buceo. Finalmente, la pérdida de calor por el mecanismo de evaporación es inevitable ya que la mezcla respiratoria inhalada por la boca debe ser calentada por el aparato respiratorio (5).

Alteración de los sentidos

Durante el buceo se alteran diversos sentidos, como los de la visión y audición.

Visión

La función fundamental del sistema ocular es conseguir que los rayos luminosos que penetran en el ojo desde el exterior se reúnan en un punto determinado de la retina, apareciendo en esta una imagen nítida. Para cumplir este objetivo debe producirse un cambio en el índice de refracción, que no es más que un cambio de trayectoria y velocidad que experimenta un rayo luminoso al pasar de un medio a otro que posee distinto índice de refracción (6).

En la superficie terrestre existen dos medios diferentes, el medio aéreo y el ojo humano, compuesto por la córnea, humor acuoso, cristalino y humor vítreo; de todos estos, la córnea es el elemento con más poder de refracción (+42 dioptrías). El resultado de su acción es la formación en la retina de una imagen real, invertida y de menor tamaño del objeto.

Cuando el buceador se introduce en el medio acuático, el agua y la córnea pasan a tener el mismo índice de refracción. El ojo normal en este momento se convierte en un ojo hipermetrope de 40 dioptrías que no pueden ser compensadas mediante un mecanismo de acomodación (7). El resultado será un déficit en la capacidad de convergencia con lo que los rayos luminosos no se formarán en la retina, sino detrás de ella.

La única forma de reproducir las condiciones visuales que se producen en la superficie es interponer una cámara de aire entre el agua del mar y el ojo. Esto último se consigue empleando las gafas o máscaras de buceo. Con este sistema se mejora ligeramente la agudeza visual acuática, ya que los rayos luminosos, al interponerse un medio aéreo entre el ojo y el agua, modifican su índice de refracción y su ángulo de incidencia siendo esto último responsable de producir una imagen retiniana que parece estar 1/3 más cerca y ser 1/4 más grande, dando como resultado una alteración en la percepción espacial (8, 9).

Otra desviación de la normalidad impuesta por el medio acuático es la modificación en la percepción de los colores (10, 11) Esta alteración está condicionada porque el agua no absorbe las diferentes longitudes de onda del espectro luminoso por igual. Así, los colores con longitud de onda más larga son más fuertemente absorbidos que los que poseen una longitud de onda más corta. De esta forma, el color que antes se pierde es el rojo seguido del naranja, amarillo y el último en perderse es el azul.

Audición

A nivel del oído interno, se localizan el aparato vestibular y el aparato coclear. Ambas estructuras estarán afectadas durante el buceo.

A nivel coclear, se van a producir una serie de alteraciones que vendrán condicionadas por el aumento en la velocidad de transmisión del sonido que se produce en el medio acuático. Este incremento se cifra en unas cinco veces, lo que condiciona que el sonido pasará desde 340 m/s en el aire hasta los 1.500 m/s en el agua (11). La consecuencia inmediata de este incremento en la velocidad de transmisión del sonido será una incapacidad por parte del buceador para detectar su origen, ya que este llegará al mismo tiempo a ambas estructuras cocleares (9).

A nivel vestibular, se producen modificaciones en su funcionamiento condicionadas por la alteración en la orientación espacial. En superficie, la orientación espacial se produce por la integración de tres tipos de estímulos: visuales, propioceptivos y vestibulares. Durante la inmersión, esta situación cambia ya que se alteran los estímulos visuales y los estímulos propioceptivos al minimizarse

los efectos de la gravedad sobre el individuo. La desaparición de ambos efectos condicionará que el mantenimiento del equilibrio sea casi exclusivamente responsabilidad del órgano vestibular (12).

Toxicidad de los gases

La permanencia del buceador en el medio acuático está en función del tipo de mezcla gaseosa empleada. Así, cada mezcla gaseosa presenta una serie ventajas y complicaciones:

- Aire comprimido: Es la mezcla más extendida en el mundo del buceo, tanto militar, civil y deportivo como profesional. La principal ventaja está en su facilidad de obtención y en su economía, y el principal inconveniente radica en la toxicidad del nitrógeno, que a partir de 30 m produce la denominada narcosis nitrogenada cuyos efectos depresores del sistema nervioso central limitan su uso más allá de 50 m (13).
- Oxígeno: El oxígeno presenta el inconveniente de su toxicidad, como se puede observar en la Figura 23, de tal forma que cuando se utiliza a presiones parciales superiores a 0,5 ata comienza su nivel tóxico. Puede ser de dos tipos: toxicidad pulmonar o efecto de Lorrain-Smith, considerado como un efecto crónico o a largo plazo, y toxicidad neurológica de tipo agudo o efecto de Paul Bert y que trae consigo un cuadro de excitación neurológica muy parecido a un gran mal epiléptico.

Presión parcial del oxígeno	Cuadro clínico
< 0,17	Hipoxia
Entre 0,17 y 0,4	Normoxia
Entre 0,4 y 1,7	Efecto Lorrain-Smith
> 1,7	Efecto Paul-Bert

Figura 23: Toxicidad del oxígeno según sus presiones parciales.

- Helio: Gas inerte que sustituye al nitrógeno debido a su baja densidad y que permite alcanzar profundidades mayores sin los efectos narcóticos específicos del nitrógeno (14). Edmonds y otros (1) sugieren además que las mezclas con helio permiten acortar el tiempo de descompresión. Sin embargo, su empleo implica una serie de problemas: alteración de la voz, alta conductividad térmica y el denominado síndrome nervioso de las altas profundidades o *helium tremor*, que aparece en profundidades mayores de 150 m y se caracteriza por un aumento de la somnolencia y disminución de la destreza manual y cognitiva (11,15).

Empleo de los equipos de buceo

En función de las distintas mezclas gaseosas y sobre todo en función de las necesidades operativas, existen distintos equipos de buceo con distintas mezclas respirables:

- Equipo de aire comprimido: Usa aire atmosférico comprimido y tiene un límite máximo operativo de 50 m. Es el equipo o sistema de buceo más extendido, y son equipos de circuito abierto donde toda la mezcla exhalada por el buceador se elimina al exterior.
- Equipos de oxígeno: Usan equipos de circuito cerrado con uso de oxígeno puro y tienen una máxima profundidad operativa de 7 metros, determinada por la toxicidad del oxígeno. Son equipos de circuito cerrado en los que el buceador no exhala mezcla al exterior sino que el gas exhalado se envía de nuevo al equipo de buceo donde un absorbente de anhídrido carbónico limpia el gas. El oxígeno consumido por el organismo es reemplazado por el oxígeno disponible en la botella del buceador. Esto permite al buceador una gran autonomía debajo del agua.
- Equipos de buceo con mezclas oxígeno-nitrógeno: Son mezclas artificiales que, en función de la profundidad y la operatividad de la misión, enriquecen la mezcla con oxígeno y la reducen en nitrógeno; así se disminuye la narcosis por nitrógeno, se incrementa la profundidad de buceo y se reduce la descompresión, pero se incrementa el riesgo de toxicidad por oxígeno. Estos equipos de buceo son de tipo semicerrado, esto es, liberan al exterior solamente una parte de la mezcla exhalada por el buceador, mientras que otra parte es reutilizada después de eliminar el contenido en anhídrido carbónico.

Las mezclas más utilizadas y las profundidades se aprecian en la siguiente tabla:

Mezcla	Composición	Profundidad
60	60% oxígeno + 40% nitrógeno	Ente 0 y 25 metros
40	40% oxígeno + 60% nitrógeno	Entre 0 y 45 metros
30	32% oxígeno + 68% nitrógeno	Entre 45 y 55 metros

- Equipos de buceo con mezclas helio-oxígeno: Son equipos con suministro desde superficie donde se sustituye el gas inerte nitrógeno por helio y con los que se pueden alcanzar grandes profundidades sin los efectos negativos del nitrógeno. Las mezclas helio-oxígeno se emplean en la Armada española en inmersiones entre 50 y 90 m. Debido a la importancia de este sistema de buceo, será en este tipo de inmersiones donde centremos tanto la adaptación fisiológica a este tipo de buceo como las consecuencias negativas de su empleo.

En el Centro de Buceo de la Armada se efectúan los cursos de buceo para el personal militar. De todos ellos, el más específico es el Curso De Gran Profundidad, de un año de duración, que cuenta con 90 metros como máxima profundidad operativa y el empleo de mezclas helio-oxígeno con suministro desde superficie como elemento respirable fundamental.

Estas inmersiones se realizan desde el BSR Neptuno, buque de la Armada encargado del salvamento y rescate de submarinos siniestrados donde los buzos juegan un papel fundamental ya que son los que van a establecer contacto con el submarino siniestrado prestando ayuda y administrando el material necesario para poder subsistir.

Fases de la inmersión

Preparación

En esta fase, el buceador no solo se debe equipar de forma conveniente para evitar entre otros factores la aparición de hipotermia o la entrada de agua dentro del traje, lo que haría que la descompresión que se realiza en el agua fuese muy dificultosa, sino que también debe comprobar la adecuada compensación, equilibrado de oídos o la permeabilidad la trompa de Eustaquio.

Una vez el buceador está completamente vestido y antes de su entrada en el agua, se debe comprobar el adecuado funcionamiento del traje y el aporte de mezcla gaseosa desde las mangueras externas y desde el equipo de uso personal.

Fase de fondo

Una vez alcanzado el fondo, el buceador debe controlar de forma adecuada la entrada de flujo así como que la mezcla respiratoria sea la conveniente para su profundidad, además de vigilar de forma estrecha a su compañero ante la aparición de alguna complicación.

Descompresión en el agua

Terminada la fase en el fondo, se inicia el lento retorno a superficie que trae consigo la descompresión del buceador. Al objeto de disminuir la estancia del buceador en el agua y favorecer la eliminación del gas inerte localizado en el organismo del buceador, a una determinada profundidad se produce la sustitución de la mezcla del fondo por una mezcla enriquecida de oxígeno que favorecerá la eliminación de helio y por tanto se disminuirá la aparición de una probable enfermedad descompresiva.

Intervalo en superficie

Esta es quizás una de las fases más complicadas de la inmersión a gran profundidad, ya que en un intento de sacar a los buzos del agua lo antes posible y completar la descompresión en una cámara hiperbárica, en seco y bien controlados, se debe realizar un proceso denominado descompresión en superficie que no es más que un aborto u omisión de descompresión controlada. Los buceadores pasan desde una profundidad determinada, en este caso 12 metros, a superficie y disponen de un tiempo inferior a 5 minutos para subir a superficie, desvestirse, entrar en la cámara hiperbárica y ser de nuevo comprimidos a 15 m, donde completarán la descompresión.

Descompresión en cámara hiperbárica

Durante esta fase los buceadores, ya en seco y con un fácil acceso y control médico, además de asegurarse un medio ambiente confortable, completarán la descompresión.

Situaciones fisiológicas: Bradicardia de inmersión

La respiración de oxígeno a presiones elevadas produce una serie de cambios hemodinámicos significativos tales como: disminución del gasto cardiaco, aumento de la resistencia vascular periférica, vasoconstricción y, sobre todo, un enlentecimiento de la frecuencia cardiaca que en sujetos predispuestos puede llegar incluso a límites extremos (16, 17).

Situaciones patológicas

Toxicidad por oxígeno

El mecanismo general de afectación orgánica del oxígeno es mediante la producción de radicales libres, sustancias procedentes de la respiración celular altamente tóxicas y que se generan en cantidades importantes bajo condiciones de hiperoxia.

El ser humano dispone de diversos mecanismos protectores frente a la hiperoxia, entre los que destacamos los mecanismos enzimáticos, los mecanismos no enzimáticos y el mecanismo de control humano. Este último es quizás el de mayor interés para el buceador e incluye, entre otros, aclimatación, exposiciones hiperóxicas intermitentes, reposo y factores ambientales como temperatura y humedad, de tal forma que las condiciones idóneas estarían entre 20-25 °C y una humedad próxima al 70%.

Entre los mecanismos que favorecen la intoxicación por oxígeno, destacan la presión parcial de oxígeno, la duración de la exposición (18) y la variación en la

susceptibilidad individual (19). Además, existen otros mecanismos que pueden incrementar la toxicidad, como son: ejercicio físico intenso, hipertermia, fiebre, estrés, dióxido de carbono, susceptibilidad idiopática y exposición prolongada.

A nivel pulmonar, la intoxicación por oxígeno presenta una secuencia de acontecimientos caracterizados por una sintomatología clínica: picor retroesternal creciente que evoluciona a dolor torácico, tos y en fases más avanzadas disnea (20), alteraciones en la mecánica ventilatoria y, si la exposición es prolongada en el tiempo, aparición de alteraciones ultraestructurales (21).

Una forma de objetivar la toxicidad pulmonar por oxígeno es mediante la realización de pruebas espirométricas, donde destacan entre otros la afectación de los parámetros de flujo frente a los parámetros de capacidad (22).

Una forma de cálculo de la toxicidad pulmonar por oxígeno es mediante la unidad de toxicidad pulmonar (UPTD) que establece el grado de lesión pulmonar. Se define como la afectación de la capacidad vital ocasionada por la respiración de oxígeno puro a una atmósfera durante un minuto. Según esta definición, se establece que el límite de toxicidad pulmonar se situaría en 600 UPTD. Sin embargo, exposiciones que supongan niveles inferiores también traerán consigo afectación espirométrica de tipo asintomático y de carácter reversible, lo que nos indica que la respiración de oxígeno a presiones elevadas siempre supone una afectación pulmonar (23).

A nivel neurológico, las presiones parciales de oxígeno superiores a 1,7 ata exponen al sujeto a un cuadro caracterizado por una crisis convulsiva tipo gran mal epiléptico que puede estar precedida por una sintomatología previa muy variable como fasciculaciones, taquicardia, alteraciones visuales o vértigo y cuya detección es fundamental para evitar la progresión hacia la crisis convulsiva. El tratamiento de estas situaciones clínicas consiste en apartar al sujeto del medio ambiente hiperóxico.

Barotraumatismos

Son lesiones ocasionadas por los cambios de presión y que afectan sobre todo a aquellas cavidades con contenido aéreo y con comunicación con el exterior que por cualquier circunstancia se obstruyen y dificultan la libre circulación del aire. Los lugares más frecuentes de asiento de la patología barotraumática son el oído medio y el pulmón.

Oído medio

Es un cuadro propio de la primera fase del descenso y suele ocurrir en buceadores novatos. En esta fase, el aumento de presión ambiental debe ser equili-

brado a nivel del oído medio mediante la apertura de la trompa de Eustaquio que comunica la caja timpánica con la rinofaringe. A diferencia del ascenso, en que la apertura de la trompa de Eustaquio es pasiva, durante el descenso se requieren ciertas maniobras voluntarias para obtener dicho objetivo; estas maniobras pueden resultar ineficaces debido a procesos inflamatorios de las fosas nasales, faringitis o tabaquismo.

Al no conseguirse la equipresión con el medio externo, el aumento progresivo de la presión ambiental producirá la aparición de dolor de oído y en casos extremos la rotura timpánica. El tratamiento se basa en el tratamiento de la patología de bases que dificulta el correcto funcionamiento de la trompa. En el caso de la perforación timpánica, el pronóstico suele ser bueno, siempre y cuando el buceador se abstenga de realizar actividades acuáticas hasta la completa cicatrización de la membrana timpánica.

Barotrauma de pulmón

Se produce cuando el buceador pierde el contacto con su equipo respiratorio y realiza un ascenso rápido a superficie, en estas condiciones, la reducción de la presión ambiental producirá una progresiva expansión del volumen gaseoso pulmonar que puede sobrepasar los límites de resistencia elástica provocando su rotura con el consiguiente paso del gas pulmonar a territorios extra pulmonares, ya sean torácicos o sistémicos. La expresión más grave de este cuadro es el embolismo arterial gaseoso con afectación neurológica, constituyendo además la emergencia más grave que puede acontecer al buceador (24).

Patología descompresiva

La práctica del buceo exige un estricto seguimiento de las normas de seguridad; una de ellas es realizar una descompresión acorde a la inmersión realizada. Esta descompresión debe contemplar aspectos como duración de la inmersión, máxima profundidad, temperatura del agua y tipo de trabajo realizado.

La enfermedad descompresiva aparece como resultado de la formación de burbujas de gas procedentes de los gases inertes disueltos en los tejidos cuando se registra una reducción suficiente de la presión ambiental. Estas burbujas pueden ser extravasculares o intravasculares. Estas últimas son más graves, ya que al trastorno oclusivo se suman los efectos derivados de la interfase sangre-burbuja que desencadena una serie de reacciones protagonizadas por los elementos de la sangre que empeoran y agravan su pronóstico.

Golding (25) clasificó la ED en leve (tipo I) o grave (tipo II) y patología descompresiva crónica. En la actualidad, se tiende a hacer una clasificación atendiendo

a criterios descriptivos, donde se consideran tres factores: comienzo, evolución y manifestaciones clínicas (26, 27).

La patología descompresiva, por norma general, suele aparecer tras inmersiones en medio acuático, pero en ocasiones pueden aparecer tras inmersiones en seco, esto es, inmersiones en cámara hiperbárica ya sean de instrucción o adiestramiento. En estos casos, tanto la presentación y el diagnóstico como el tratamiento no difieren de los realizados durante su aparición tras las inmersiones en medio acuático (28).

Bibliografía

- LOWRY, E. C. y PENNEFATHER, J., *Diving and subacuatic medicine*. Oxford: Butterworth Heinemann, cuarta edición, 2002.
- GUYTON, C. A. y HALL, E. J., *Tratado de fisiología médica. Temperatura corporal, regulación de la temperatura y fiebre*. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España SAU, 9.ª edición, 1996, pp. 993-1006.
- FERNÁNDEZ RUESTRA, F. A. y SÁNCHEZ DE LA NIETA, J., "Patología del náufrago". *Medicina Militar*, 1998, n.º 54 (3), pp. 165-174.
- SAGAWA, S. y SHIRAKI, K., "Some fundamental problems of thermoregulatory mechanisms in man in hyperbaric environments". En LIN, Y. C. y NIU, A. K. C. (eds.), *Hyperbaric physiology and medicine*. California: Best Publishing Company, 1998, pp. 51-68.
- OLEA GONZÁLEZ, A.; TRIGUEROS MARTÍN, J. L.; MARTÍNEZ IZQUIERDO, A.; GONZÁLEZ CRUZ, A.; LÓPEZ BARRETO, C. A., y CALLEJÓN PELÁEZ, *Archivos de medicina del deporte*. 2001, vol. 86 (XVIII), pp. 603-611.
- DOMINGO, M. L.; CLEMENT, F.; COTALLO, J. L.; JIMENES, R.; MACÍAS, L., y SALVADOR, R., *Pregrado de Oftalmología*. Madrid: Luzan 5 SA, 1987.
- SCHOLZ, R., *Underwater vision: Diving and the eye*. Medical Corps International. 1989, 4 (1), pp. 30-33.
- TIBIKA, B., *Medicine de la plongee*. París: Masson, 1982.
- US Navy diving manual*, volumen 1 ("Air diving"). Best Publishing Company, 1993.
- GONZÁLEZ AYELA, A. y PÉREZ MOREDA, F., "Visión subacuática y su protección". En GALLAR, F., *Medicina subacuática e hiperbárica*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Ediciones Gráficas Ortega, 3.ª ed., 1995, pp. 145-160.
- GOSOVIC, S., *Safe diving*. Arizona: Best Publishing Company, 6.ª edición, 1993.
- FARMER, J. C. y THOMAS, W. G., "Ear and sinus problems in diving". En STRUSS, R. H. (eds.), *Diving medicine*. New York: Grune & Stratton, 1976, pp. 109-134.
- MELAMED, Y., SHUPAK, A. y BITTERMAN, H., "Medical problems associated with underwater diving". *The New England Journal of Medicine*, 1992; n.º 2, pp. 30-34.
- WILMSHURST, P., "Diving and oxygen". *British Medical Journal*, 1998; n.º 317, pp. 996-99.
- SOMERS, L. H., "Diving physics". En: BOVE, A. A. y DAVIS, J. C., *Diving medicine*. Philadelphia: Saunders Company WB, 1990, pp. 9-18.
- MOLENAT, F.; BOUSSUGES, A.; GRANDFORD, A.; ROSTAIN, J. C.; SAINTY, J. M.; ROBINET, C.; GALLAND, F. y MELIET, J. L., "Haemodynamic effects of hyper-

- baric hyperoxia in healthy volunteers: an echocardiographic and Doppler study". *Clinical Science*, 2004, n.º 106, pp. 389-395.
- WILMSHURST, P., "Cardiovascular problems in divers". *Heart*, 1998, n.º 80, pp. 537-538.
- DENEKE, S. M. y FANBURG, B. L., "Oxygen toxicity of the lung: an update". *British Journal Anaesth*, 1982, n.º 54, pp. 737-745.
- LEMAITE, C., "Determinatio du taux d'hyperoxie acceptable pour les plongees au long cours par la mesure de la capacite vitale". *Medsubhyp*, 1975, n.º 12, pp. 82-86.
- MELIET, J. L., "Hyperoxie". *Medsubhyp*, 1989, n.º 8 (1), pp. 23-26.
- THORSEN, E.; SEGADAL, K.; MYRSETH, E.; PASCHE, A. y GULSVI, K., "Pulmonary mechanical function and diffusion capacity after deep saturation dives". *British Journal of Industrial Medicine*, 1990, n.º 47, pp. 242-247.
- OLEA, A., BALANZA, S., ALCARAZ, M. J. y SÁNCHEZ GASCÓN, F., "Respuesta pulmonar ante una exposición hiperóxica controlada. Valoración de cuatro buceadores militares". *Medicina Militar*, 2006; n.º 62 (2), pp. 80-83.
- OLEA, A., BALANZA, S., ALCARAZ, M. J. y SÁNCHEZ GASCÓN, F., "Toxicidad pulmonar asociada al empleo de oxígeno hiperbárico: procedimiento de cálculo". *Medicina Aeroespacial Ambiental*, 2006, n.º 5, pp. 3-9.
- OLEA, A.; VICENTE, J.; GONZÁLEZ, J. D.; PUJANTE, A.; LORENZO, E.; LÓPEZ BARRETO, C. *et al.*, "Embolia arterial de gas tras la realización de un ejercicio de escape libre desde una profundidad de 10 metros". *Medicina Militar*, 2000, n.º 56 (2), pp. 88-93.
- GOLDIN, F. C., "Decompression sickness during construction of the dartford tunel". *British Journal of Industrial Medicine*, 1960, n.º 17, pp. 167-80.
- BOVE, A. A., "Nomeclature of pressure disorders". *Undersea and Hyperbaric Medical Society*, 1997, n.º 24, pp. 1-2.
- MOON, R. E., "Classification of the decompression disorders: time to accept reality". *Undersea and Hyperbaric Medical Society*, 1997, n.º 24, pp. 2-4.
- OLEA GONZÁLEZ, A.; MARTÍNEZ, A.; TRIGUEROS, J. L.; LÓPEZ, C.; VICENTE, J.; CALLEJÓN, E. y VIQUERIRA, A., "Enfermedad descompresiva tras una inmersión en simulador hiperbárico empleando mezclas respirables helio-oxígeno". *Medicina Militar*, 2003, n.º 59 (1), pp. 35-39.

ENTRENAMIENTO DE UNIDADES ESPECIALES: BOMBEROS

Alberto Lunar de Dios
Bomberos de la Comunidad de Madrid, Unidad de Educación Física

Luis M. López Mojares
Universidad Europea de Madrid

Desde los primeros bomberos de la antigua Roma hasta los sofisticados y exquisitamente entrenados bomberos actuales (Figura 24), la actividad de estos profesionales se considera una de las más exigentes desde el punto de vista físico y psicológico (Williams-Bell, 2009). Además, el empleo de la indumentaria, junto con el material específico de trabajo, puede suponer un peso adicional de entre 35 y 50 kilogramos (figura 25).



Figura 24: Bomberos de la Comunidad de Madrid en una de sus intervenciones.

Estas altas demandas físicas hacen que el mantenimiento de altas frecuencias cardíacas, próximas a la máxima, sean frecuentes durante su intervención (Smith, 1995, 1996, 1997 y 1998), por lo que existe una alta prevalencia de alte-

raciones cardiovasculares entre esta población. Se ha estimado que cerca de la mitad de las muertes durante el desarrollo de la tarea del bombero tienen origen cardiovascular (*U. S. fire administration firefighter fatalities in the United States in 2007, 2008*).



Figura 25: Equipos materiales utilizados por los bomberos. Este bombero pesa 70 kg; con el material de trabajo, 126,5 kg (181%).

Los elementos de incertidumbre y la ansiedad que estos profesionales han de soportar, junto con las exigencias físicas apuntadas (Selkirk, 2004), incrementan sensiblemente el trabajo cardíaco. Además, el ejercicio físico requerido para llegar al lugar del siniestro y manejar adecuadamente el equipo y el calor propio de las llamas son también responsables del estrés térmico al que se someten.

Existen además otras restricciones impuestas por el equipo de respiración portátil al reducir la movilidad de la pared torácica, lo que limita las incursiones ventilatorias, alterando la función pulmonar (Bygrave, 2004), o aumenta la resistencia a la espiración que ejerce el regulador del citado equipo (Eves, 2005, y Butcher, 2006 y 2007). A medida que aumentan la temperatura corporal y la frecuencia ventilatoria como consecuencia de la actividad física desarrollada, la pérdida de líquidos se dispara, complicando el equilibrio homeostático.

Cuando los bomberos entran en acción es frecuente que superen los 150 latidos por minuto y su temperatura corporal puede llegar a subir más de 1°C en

la primera media hora, especialmente cuando esta tiene lugar en los recintos confinados de un edificio, lo que hace necesario el relevo periódico del personal que interviene en una misión.

En numerosas ocasiones se ha medido la sobrecarga que produce este marco de trabajo, que requiere un consumo de oxígeno (VO_2) de unos 2.500 ml/min para caminar a 3,5 km/h sobre un plano inclinado del 10% durante 15 minutos (Smith, 1995).

La temperatura corporal central no suele superar los 38°C. Baker y colaboradores mostraron en 2000 que los bomberos podían caminar a una velocidad de 6 km/h con una pendiente del 10% con el traje de protección, pero sin el equipo de ventilación, durante 60 minutos en un ambiente de 21°C. La frecuencia cardiaca se situaba en torno a los 160 latidos por minuto (lpm) y la temperatura central llegó a los 38,4°C al final de la prueba, de una hora de duración.

Con objeto de poder analizar en detalle la sobrecarga metabólica descrita, se han diseñado diversos modelos simulados que permiten medidas precisas sin poner en riesgo la misión ni la integridad física de estos valientes profesionales (Bilzon, 2001; Petersen, 2004; Von Heimburg, 2006, y Holmer, 2007). Si bien los modelos resultan diferentes, las principales conclusiones concuerdan, lo que fortalece la fiabilidad de estas: durante las operaciones de extinción de incendios el consumo medio de oxígeno, que indica la actividad metabólica aeróbica del individuo, se encuentra en torno a 34 ml/kg/min, con un rango de entre 16 y 55 ml/kg/min en un periodo que oscila, según los estudios, entre 2 y 22 minutos (Dreger, 2007, y Rodríguez-Marroyo, 2011). Naturalmente, existe una gran correlación, mostrada por regresión lineal simple, entre VO_2 y duración de la tarea ($r^2=0,93$), lo que debe considerarse a la hora de establecer los protocolos de actuación correspondientes.

El equipo de trabajo del bombero está diseñado para proteger de las posibles quemaduras y humos tóxicos con los que ha de convivir durante su actividad. El equipo básico consiste en chaqueta de Gore-Tex®, con pantalones de talle alto con protección y forro, verdugo de Kevlar, ventilador, casco y botas y guantes impermeables de goma, lo que supone unos 15 kg. La gran capacidad aislante dificulta la transferencia de calor y la permeabilidad del agua. La resistencia térmica y el coeficiente de permeabilidad de Woodcok son las variables que se emplean para realizar las pruebas de homologación (McLellan, 1996). El equipo autónomo de respiración que se suele utilizar pesa unos 12 kg, que suelen soportarse en la espalda, lo que limita los movimientos y suele resultar un importante lastre a la hora de trepar por los edificios (Santee, 2001, y Kang, 2002). Por tanto, para un bombero medio de 80 kg de peso, puede llegar a soportar más de la tercera parte de su peso. Como ya hemos apuntado anteriormente, hemos de considerar que en la mayor parte de las ocasiones los bom-

beros requieren de otras herramientas, como la de la Figura 26, cuyo manejo supone una exigencia física adicional.

Cuando se compara el aumento del coste energético que requiere el empleo de estos equipos con respecto a sujetos bajo control, se puede comprobar que hay un aumento adicional del 15% cuando se considera subiendo escaleras y un 22% extra cuando se valora caminando (Dorman, 2009). También se observó que el coste metabólico era proporcional a la velocidad de la marcha. Cuando el desplazamiento del bombero es lento, es decir, inferior a 90 m/min, la carga del material sobre la espalda puede resultar un 20% de la masa corporal más liviano que su transporte con las manos, pero esto no es así en las acciones ejecutadas con más rapidez (Abe, 2004).



Figura 26: Material de corte de grandes dimensiones empleado por los bomberos de la Comunidad de Madrid.

Se ha especulado sobre la influencia del empleo de diversas capas en la ropa de los bomberos. Los estudios clásicos de Givoni (1972) y Duggan (1988) apuntaban a considerar que utilizar varias prendas una sobre otra suponía un mayor coste energético que el transporte de un peso equivalente en un cinturón lastrado. Se ha calculado que cada capa adicional de ropa podría suponer un incremento por rozamiento de un 3% sobre las condiciones basales (Duggan, 1988).

Los humanos somos mamíferos especialmente bien adaptados para soportar ejercicios de larga duración en ambientes calurosos. Podríamos considerarnos como uno de los animales que mejor sudamos, y este mecanismo es de un valor incalculable. La piel desnuda también permite disipar calor por radiación. Naturalmente, cuando está cubierta por diversas capas de tejidos, estos fenómenos se encuentran limitados (McLellan, 1996). El aumento de calor procedente del incremento de la actividad metabólica y la menor eficiencia en la evaporación del sudor hacen que incluso un ejercicio físico ligero en ambiente templado pueda conducir a un cuadro de golpe por calor (Selkirk, 2004).

Cuando la temperatura ambiente es elevada, y especialmente si la humedad relativa del aire también lo es, la capacidad del organismo para mantener estable la homeostasis se reduce drásticamente, lo que hace que aumente constantemente el calor acumulado, que puede propiciar el desvanecimiento o la muerte del bombero. En esta situación, resulta indispensable el cese de la actividad física, la liberación del traje de protección y el traslado a un ambiente más templado. Sin embargo, durante el ejercicio físico de cierta intensidad en lugares cálidos la hipertermia puede no suele ser el principal limitante. En tareas de intensidad moderada (45-70% de VO_2 max) a 28°C con una humedad relativa del 50%, los tiempos máximos de tolerancia van aparejados a la respuesta de la frecuencia cardíaca cuando esta se aproxima al 90% de la frecuencia cardíaca máxima (White, 1987), que pueden cifrarse en 30 minutos para ejercicios de intensidad moderada y no más de 10 minutos para actividades de mayor intensidad. No obstante, incluso en estas situaciones de actividad moderada, al cabo de los 30 minutos de ejercicio moderado la temperatura corporal central no subía por encima de los 38,5°C.

La principal conclusión de estos experimentos es que la tolerancia está limitada sobre todo por aspectos cardiocirculatorios, al menos para tareas de duración inferior a 30 minutos. Incluso para los bomberos mejor entrenados, el VO_2 requerido para mantener la actividad podría aproximarse a su capacidad máxima. Este fenómeno es el mismo descrito en las operaciones militares con uniforme de protección frente a agresores nucleares, biológicos o químicos (NBQ) (McLellan, 1993). Es por tanto necesario protocolizar adecuadamente los periodos de descanso durante estas actividades.

Los equipos portátiles de respiración limitan tanto el trabajo muscular inspiratorio como el espiratorio, lo que supone una importante tara para el volumen corriente. Este efecto se acrecienta en niveles de ejercicio de alta intensidad (Eves, 2005, Butcher, 2006 y Dreger, 2006). Se midió una reducción del 17% de VO_2 max paralela a una disminución del 15% en la ventilación máxima (VE_{max}), propiciada por la limitación del volumen corriente, sin modificaciones en la frecuencia ventilatoria (Dreger, 2006). Cuando se analizan de manera independiente las influencias que propician la limitación de cada uno de los elementos del equipo, como describieron Eves y colaboradores (2005), aparece que el 5% correspondería al peso del equipo portátil de respiración, el 13% al regulador del mismo y el 15% a la dificultad conjunta de ambos factores. La reducción de la ventilación bien podría ser causa de la mayor resistencia externa a la ventilación producida por el regulador.

No obstante, se ha de apuntar que la resistencia espiratoria crece con el equipo portátil tanto por el peso soportado como por las múltiples capas de ropa que viste el bombero, en particular a tasas de VE superiores a 80 L/min. Los estudios del grupo de Butcher (2006 y 2007) ofrecen resultados parecidos a

VE superiores a 75 l/min. Este efecto sugiere la aparición de un fenómeno de hiperinsuflación dinámica, característico de diversos trastornos respiratorios obstructivos. También se comprobó el efecto sobre la ventilación de la sobrecarga térmica (Butcher, 2007): la temperatura corporal central aumentaba desde 37,5°C a 39°C tras 30 minutos de ejercicios seriados, con aumentos de VE de más del 30%, desde 76 a 102 l/min, manteniendo constante la intensidad del ejercicio. La fatiga de los músculos ventilatorios podría tener una responsabilidad importante en su aparición (Dempsey, 2008).

La sobrecarga cardiovascular hace que la incidencia de insuficiencias coronarias y, en particular, de infarto agudo de miocardio sea especialmente prevalente en esta población (Von Heimburg, 2006, y Hoffman, 2012). Se cree que el aumento de la presión intratorácica propiciada por el equipo autónomo durante el ejercicio podría afectar a la función cardíaca (Mayne, 2009). Este grupo, mediante ecocardiografía, observó que aparecía una menor precarga del ventrículo izquierdo (llenado ventricular) a pesar de existir una mayor contractilidad, lo que indica que en actividades de moderada intensidad y corta duración no parece existir compromiso funcional cardíaco. Cuando el experimento se realiza a una intensidad mayor (Nelson, 2009), caminando con el equipo autónomo y el resto del equipo de protección y con la aparición de aumento de temperatura y reducción del volumen plasmático, sí se comprobó una reducción significativa en el volumen telediastólico, volumen telesistólico y volumen sistólico con respecto al inicio del ejercicio. El retorno venoso se reduce como consecuencia del aumento de la presión intratorácica sobre la precarga del ventrículo izquierdo, además del efecto propio de la sobrecarga térmica y la reducción del volumen plasmático característico del ejercicio de alta intensidad.

El grupo de Rodríguez-Marrollo (2011 y 2012) desarrolló un modelo para analizar la sobrecarga fisiológica sufrida por los bomberos que actúan en campo abierto basado en la determinación de la frecuencia cardíaca y el análisis de la temperatura central. Diferenciaba las distintas actividades de intervención en la extinción del incendio en “acciones de ataque directo”, que son las ejercidas junto a las llamas a una distancia menor de 5 m, y que suele ser la más característica de las primeras fases del incendio, cuando las llamas tienen menos de 2 o 3 m. Cuando el incendio progresa y se hace de mayores dimensiones, la actividad de extinción tiene lugar desde mayor distancia con respecto a la línea de fuego, generalmente superior a 100 m, lo que se considera como “acción de ataque indirecto”. Las mayores frecuencias cardíacas máximas y medias aparecen durante las acciones de ataque directo ($p < 0,05$) (173 + 1 y 128 + 2 lpm, respectivamente) y las acciones de ataque mixtas (175 + 1 y 126 + 2 lpm, respectivamente). Como se observa en la Figura 27, el índice de sobrecarga fisiológica (PSI) resulta especialmente elevado en las acciones de ataque directo.

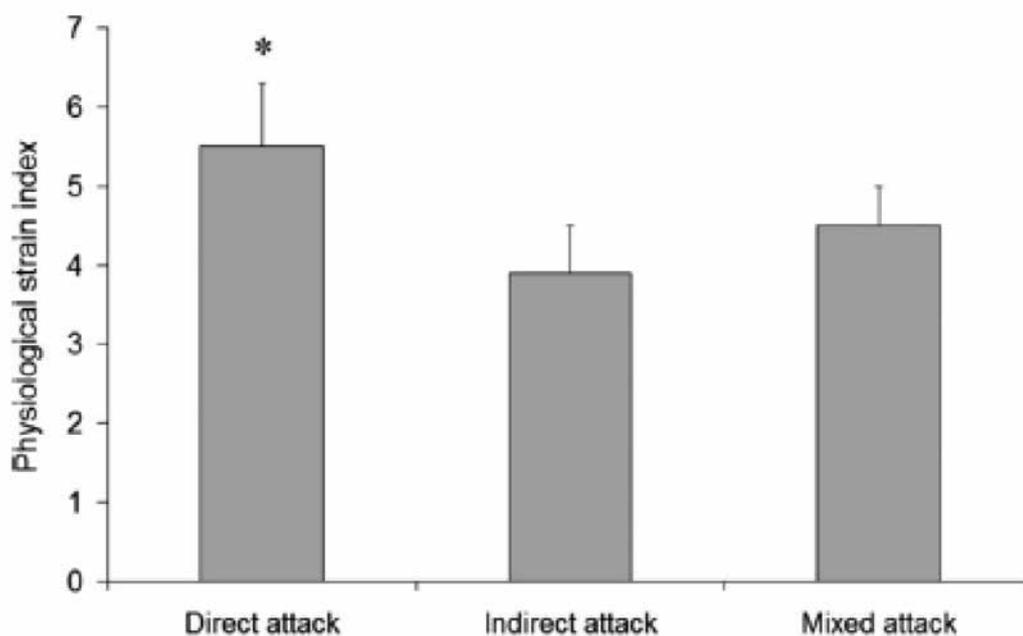


Figura 27: Baremo del índice de sobrecarga fisiológica (PSI) durante las acciones de extinción de incendios en campo abierto. Aparecen diferencias significativas que indican una mayor sobrecarga en las “acciones de ataque directo” frente a las “acciones de ataque indirecto” ($p < 0,05$). Modificado de Rodríguez-Marrollo, 2011.

El diseño de protocolos de actuación que mejoren el rendimiento del bombero durante su actividad y minimice el riesgo de sufrir accidentes se enfrenta con dificultades singulares. La imposibilidad de conocer las características geográficas, la magnitud de la emergencia o el momento en la que esta se presentará condicionan estos programas.

Por estas razones, resulta indispensable una valoración funcional sistemática de los bomberos con objeto de conocer la situación real, que, como refiere Prieto (2010), podría diferir sensiblemente de la apreciación subjetiva de cada uno. El adecuado entrenamiento y la planificación de la preparación física permanente son las garantías del correcto cumplimiento de la misión y la reducción de los accidentes.

A lo largo del tiempo se han diseñado medidas previas a la entrada en acción que resultan de gran utilidad. Por ejemplo, asegurar que al inicio de la misión el bombero presente una hidratación adecuada resulta indispensable para una adecuada tolerancia al calor, para aprovechar su forma física y obtener el máximo rendimiento de su aclimatación a las altas temperaturas plenamente (Cheung, 1998). Este grupo mostró que una reducción del 2% en el nivel de hidratación en temperaturas de 40°C y del 30% de humedad relativa del aire

reduce significativamente la tolerancia al ejercicio con trajes de protección NBQ.

Se ha barajado la posibilidad de ofrecer una hiperhidratación forzada antes de la misión mediante la ingesta de agua y mediante la aplicación de métodos más sofisticados como la ingesta de glicerol o la infusión intravenosa de líquidos (Hostler, 2009), sin mostrar estas últimas ventajas significativas frente a la ingesta simple de agua. Lo que sí parece resultar más beneficioso es el empleo de líquidos a bajas temperaturas; por ejemplo, la administración de líquidos a 4°C media hora antes del ejercicio puede reducir la temperatura corporal central 0,5°C, frente a la administración de líquidos a 37°C que no produce efecto (Lee, 2008). Por tanto, la ingesta de unos 300-500 ml de líquido fresco durante el desplazamiento al lugar del siniestro puede resultar de inestimable ayuda. Estas medidas adquieren una relevancia especial cuando la duración de la intervención se alarga y cuando se ejecutan de manera repetida.

De nuevo, las características del servicio prestado por los bomberos dificultan la refrigeración o hidratación durante el momento de la tarea, en especial en aquellas ocasiones que requieren el empleo de todo el vestuario de protección y el equipo portátil de ventilación. Como ya hemos apuntado, estos asuntos aumentan el trabajo ventilatorio y reducen la homeostasis térmica. Se han probado modelos para refrigerar el aire suministrado, con escasos resultados prácticos, y también se ha probado el suministro de mezclas de gases ligeros, en particular mezclas de oxígeno con helio a semejanza del utilizado por los buzos de grandes profundidades, que permiten compensar al menos parcialmente el incremento de la resistencia producida por el regulador del equipo portátil de ventilación (Butcher, 2007). Otros investigadores han intentado mejorar el rendimiento físico aeróbico utilizando mezclas de aire ricas en oxígeno (Eves, 2002), mostrando ventajas con respecto a la tolerancia al ejercicio, niveles de lactato y en los índices de percepción subjetiva del esfuerzo.

Por último, la adecuada recuperación del bombero garantiza la capacidad de este para enfrentarse a una nueva contingencia con eficacia. La reducción de la temperatura corporal central es uno de los objetivos prioritarios. Proulx y colaboradores (2003) demostraron que se podía reducir esta de 39,5°C a 37,5°C en menos de 10 minutos mediante un baño completo en agua a 2°C. También pueden conseguirse resultados parecidos con baños intermitentes (10-20°C) o continuos (20°C) durante unos 15 minutos, que resultan en este sentido más eficaces que la recuperación activa pedaleando al 40% de VO_2 max (Vaile, 2008). No obstante, estas medidas no consiguen reducir el daño muscular (Howatson, 2009, y Jakeman 2009).

Naturalmente, estas medidas están lejos de poder aplicarse de una manera sistemática por las indudables dificultades logísticas. Sin embargo, estos ex-

perimentos sirven para respaldar los consejos de refrigeración durante las fases de descanso durante la misión. La inmersión de las extremidades en agua fresca o fría, en torno a 15°C, ha probado su utilidad mejorando la recuperación. Selkirk y colaboradores (2004) analizaron a un grupo de bomberos con la indumentaria de protección y el equipo portátil de ventilación en un ambiente a 35°C y 50% de humedad relativa del aire. La relación ejercicio-reposo era de 50 y 30 minutos, respectivamente, y sumergían los antebrazos en agua a 17°C, prolongando significativamente el tiempo de tolerancia al ejercicio. También observaron que el 70% del intercambio total de calor ocurría en los primeros 10 minutos, de un total de 20 minutos de inmersión. Además, a temperaturas más bajas del agua (10°C frente a 20°C) se puede emplear una menor superficie corporal (Giesbrecht, 2007), lo que facilita notablemente llevar esto a la práctica diaria.

Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid. Entrenamiento físico

Las especiales características del trabajo de bombero conllevan limitaciones estructurales, funcionales y operativas que determinan el volumen-cantidad y la intensidad-calidad de los entrenamientos a realizar en las jornadas laborales. Estas limitaciones se deben tener presentes a la hora de proponer programaciones y de su ejecución posterior, lo que incide directamente en el cumplimiento de las normas que rigen el entrenamiento.

El número total de las jornadas de trabajo es de, aproximadamente, 70 anuales (1 día trabajo y 5 libres). En cada una de ellas existe la posibilidad de intervenir en un siniestro, lo que significa que potencialmente cada una podría ser considerada como una competición.

Las especiales circunstancias a las que se puede enfrentar un bombero a lo largo del día que está de guardia (jornada laboral) requieren que el tipo de entrenamiento que se realice durante esta guardia esté condicionado por la operatividad de la unidad, lo que produce importantes limitaciones a la hora de planificar estas sesiones:

- El volumen y la intensidad del entrenamiento deben ser ligeros o moderados.
- En ningún caso deben ser extenuantes ni causar fatiga acumulativa.
- No se ha de trabajar un solo músculo o un solo grupo muscular que realice la misma función: el entrenamiento ha de ser global y de poca intensidad.
- Para un bombero es indispensable entrenar fuera del horario laboral.

El entrenamiento se complementa con ejercicios durante las maniobras y simulacros, por su efecto de transferencia inmediata entre la exigencia física de la realidad y el desarrollo específico de las capacidades físicas activadas.

Capacidades específicas en el rendimiento del bombero

Estas capacidades son las que integran la preparación física especial, y esta se determina por estudios previos de la actividad laboral que definan tanto las cualidades sobre las que se debe incidir como la intensidad en el entrenamiento.

Con los datos que se manejan en la actualidad, se puede afirmar que después de la necesidad básica del desarrollo general de todas las capacidades, se precisa el desarrollo específico de las capacidades que inciden principalmente en el trabajo de bombero, como son:

Resistencia aeróbica

Como cualidad principal y básica, por la concurrencia de los siguientes factores:

- La duración de la jornada laboral.
- La duración de la intervención en los siniestros.
- La naturaleza del esfuerzo realizado en la intervención.

Resistencia anaeróbica, láctica

- En fases de la intervención en siniestros, e incluso en siniestros que precisan una intervención intensa y de duración intermedia.
- Por cargas extrínsecas como son la utilización del equipo de protección respiratoria, la carga de calor, etc.

Fuerza y resistencia

Los requerimientos de fuerza, en general, no son máximos ni explosivos, sino acciones:

- De intensidad media-moderada.
- Reiteradas (reclutamiento muscular por fatiga).

Flexibilidad

Base fundamental de toda preparación muscular (acompañando siempre a todo entrenamiento de fuerza).

- Capacidad de amplitud en los movimientos.
- Prevención y recuperación de lesiones.

Con objeto de ilustrar las actividades desarrolladas en los parques de bomberos en la actualidad y siempre en función de la organización del régimen de actividades en la jornada laboral, junto con la posibilidad de entrenar fuera de la jornada laboral, ofrecemos algunos ejemplos de los sistemas de entrenamiento básicos en las imágenes de las figuras 28 a 31.



Figura 28: Cuerdas. Ejercicios a realizar preferiblemente fuera de la guardia.



Figura 29: Dominadas. Básico para la condición física óptima del bombero.

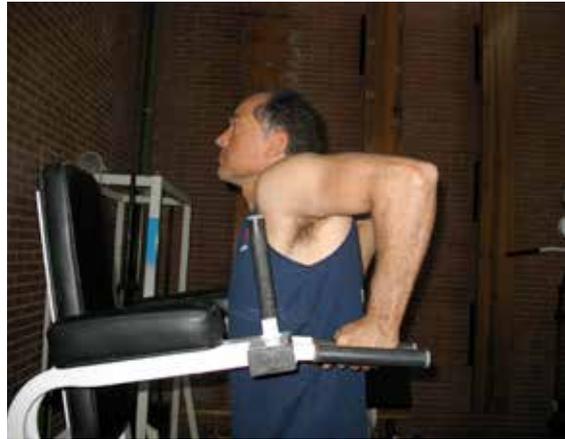


Figura 30: En suspensión y autocargas. Esenciales para actuar adecuadamente frente a la demandas de la misión del bombero.



Figura 31: TRX. Nueva forma de entrenamiento que se practica en los parques de bomberos.

Grupos de edades	Distancia mínima recomendada para el test de Cooper
18-24 años	2.900 m
25-29 años	2.800 m
30-34 años	2.700 m
35-39 años	2.500 m
40-44 años	2.400 m
45-49 años	2.300 m
50-54 años	2.200 m
55-59 años	2.000 m
60 años ó más	1.800 m

Bibliografía

- ABE, D., YANAGAWA, K. y NIIHATA, S., "Effects of load carriage, load position and walking speed on energy cost of walking". *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1987, n.º 48, pp. 304-310.
- BAKER, S. J.; GRICE, J.; ROBY, L., y MATTHEWS, C., "Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment". *Ergonomics*, 2000, n.º 43, pp. 1350-1358.
- BILZON, J. L.; SCARPELLO, E. G.; SMITH, C. V.; RAVENHILL, N. A., y RAYSON, M. P., "Characterization of the metabolic demands of simulated shipboard Royal Navy fire-fighting tasks". *Ergonomics* 2001, n.º 44, pp. 766-780.
- BUTCHER, S. J.; JONES, R. L.; EVES, N. D., y PETERSEN, S. R., "Work of breathing is increased during exercise with the self-contained breathing apparatus regulator". *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 2006, n.º 31, pp. 693-701.
- BUTCHER, S. J.; JONES, R. L.; MAYNE, J. R.; HARTLEY, T. C., y PETERSEN, S. R., "Impaired exercise ventilatory mechanics with the self-contained breathing apparatus are improved with heliox". *European Journal of Applied Physiology*, 2007, n.º 101, pp. 659-669.
- BYGRAVE, S.; LEGG, S. J.; MYERS, S., y LLEWELLYN, M., "Effect of backpack fit on lung function". *Ergonomics*, 2004, n.º 47, pp. 324-329.
- CHEUNG, S. S. y MCLELLAN, T. M., "Influence of heat acclimation, aerobic fitness and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress". *Journal of Applied Physiology*, 1998, n.º 84, pp. 1731-1739.
- CHEUNG, S. S. y MCLELLAN, T. M., "Influence of hydration status and fluid replacement on tolerance during uncompensable heat stress". *European Journal of Applied Physiology*, 1998, n.º 77, pp. 139-148.
- DEMPSEY, J. A.; AMANN, M.; ROMER, L. M., y MILLER, J. D., "Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008, n.º 40, pp. 457-461.
- DORMAN, L. E. y HAVENITH, G., "The effects of protective clothing on energy consumption during different activities". *European Journal of Applied Physiology*, 2009, n.º 105, pp. 463-470.
- DREGER, R. W., JONES, R. L. y PETERSEN, S. R., "Effects of the self-contained breathing apparatus and fire protective clothing on maximal oxygen uptake". *Ergonomics*, 2006, n.º 49, pp. 911-920.
- DREGER, R. W. y PETERSEN, S. R., "Oxygen cost of the CF-DND fire fit test in males and females". *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 2007, n.º 32, pp. 454-462.

- DUGGAN, A., "Energy cost of stepping in protective clothing ensembles". *Ergonomics*, 1988, n.º 31, pp. 3-11.
- EVES, N. D., PETERSEN, S. R. y JONES, R. L., "Hyperoxia improves maximal exercise with the self-contained breathing apparatus (SCBA)". *Ergonomics*, 2002, n.º 45, pp. 829-839.
- EVES, N. D., JONES, R. L. y PETERSEN, S. R., "The influence of the self-contained breathing apparatus (SCBA) on ventilator function and maximal exercise". *Canadian Journal of Applied Physiology*, 2005, n.º 30, pp. 507-519.
- GIESBRECHT, G. G., JAMIESON, C. y CAHILL, F., "Cooling hyperthermic firefighters by immersing forearms and hands in 10 degrees C and 20 degrees C water". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 2007, n.º 78, pp. 561-567.
- RODRÍGUEZ-MARROYO, J. A.; VILLA, J. G.; LÓPEZ-SATUE, J.; PERNÍA, R.; CARBALLO, B.; GARCÍA-LÓPEZ, J., y FOSTER, C., "Physical and thermal strain of firefighters according to the firefighting tactics used to suppress wildfires", *Ergonomics*, 2011, n.º 54 (11), pp. 1101-1108.
- GIVONI, B. y GOLDMAN, R. F., "Predicting rectal temperature response to work, environment and clothing". *Journal of Applied Physiology*, 1972, n.º 32, pp. 812-822.
- HOFFMAN, J., "Importance of fitness and firefighter heart health". *TSAC Report*, n.º 20, pp. 1-2. NSCA: 2012.
- HOLMER, I. y GAVHED, D., "Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads". *Applied Ergonomics*, 2007, vol. 38, pp. 45-52.
- HOSTLER, D.; GALLAGHER, M. JR.; GOSS, F. L.; SEITZ, J. R.; REIS, S. E.; ROBERTSON, R. J.; NORTHINGTON, W. E, y SUYAMA, J., "The effect of hyperhydration on physiological and perceived strain during treadmill exercise in personal protective equipment". *European Journal of Applied Physiology*, 2009, n.º 105, pp. 607-613.
- HOWATSON, G., GOODALL, S. y VAN SOMEREN, K. A., "The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise". *European Journal of Applied Physiology*, 2009, n.º 105, pp. 615-621.
- JAKEMAN, J. R., MACRAE, R. y ESTON, R., "A single 10-min bout of cold-water immersion therapy after strenuous plyometric exercise has no beneficial effect on recovery from the symptoms of exercise-induced muscle damage". *Ergonomics*, 2009, n.º 52, pp. 456-460.
- KANG, J.; CHALOUPKA, E. C.; MASTRANGELO, M. A., y HOFFMAN, J. R., "Physiological and biomechanical analysis of treadmill walking up various gradients in men and women". *European Journal of Applied Physiology*, 2002, n.º 86, pp. 503-508.

- LEE, J. K., SHIRREFFS, S. M. y MAUGHAN, R. J., "Cold drink ingestion improves exercise endurance capacity in the heat". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008, n.º 40, pp. 1637-1644.
- MAYNE, J. R.; HAYKOWSKY, M. J.; NELSON, M. D.; HARTLEY, T. C.; BUTCHER, S. J.; JONES, R. L., y PETERSEN, S. R., "Effects of the self-contained breathing apparatus on left ventricular function at rest and during graded exercise". *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 2009, n.º 34, pp. 625-631.
- MCLELLAN, T. M., JACOBS, I. y BAIN, B., "Influence of temperature and metabolic rate on work performance with Canadian Forces NBC clothing". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1993, n.º 64, pp. 587-594.
- MCLELLAN, T. M.; POPE, J. I.; CAIN, J. B., y CHEUNG, S. S., "Effects of metabolic rate and ambient vapour pressure on heat strain in protective clothing". *European Journal of Applied Physiology*, 1996, n.º 74, pp. 518-527.
- MCLELLAN, T. M., "Work performance at 40 °C with Canadian Forces biological and chemical protective clothing". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1993, n.º 64, pp. 1094-1100.
- PETERSEN, S. R. y DREGER, R. W., "Aerobic demands of fire rescue work in males and females". *Canadian Journal of Applied Physiology*, 2004, n.º 29, S72.
- PRIETO, J.; VALLE, M.; MONTOLIÚ, M. A.; MARTÍNEZ, P. C.; NISTAL, P., y GONZÁLEZ, V., "Relación entre la percepción de la capacidad aeróbica y el VO_{2max} en bomberos". *Psicothema*, 2010, vol. 22, n.º 1, pp. 131-136.
- PROULX, C. I., DUCHARME, M. B. y KENNY, G. P., "Effect of water temperature on cooling efficiency during hyperthermia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 2003, n.º 94, pp. 1317-1323.
- RODRÍGUEZ-MARROYO, J. A.; LÓPEZ-SATUE PERNÍA, R.; CARBALLO, B.; GARCÍA-LÓPEZ, J.; FOSTER, C., y VILLA, J. G., "Physiological work demands of Spanish wildland firefighters during wildfire suppression". *Int Arch Occup Environ Health*, 2012, n.º 85, pp. 221-228.
- SANTEE, W. R.; ALLISON, W. F.; BLANCHARD, L. A., y SMALL, M. G., "A proposed model for load carriage on sloped terrain". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 2001, n.º 72, pp. 562-566.
- SELKIRK, G. A., MCLELLAN, T. M. y WONG, J., "Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighting protective clothing". *J Occup Environ Hyg*, 2004, n.º 1, pp. 521-531.
- SELKIRK, G. A. y MCLELLAN, T. M., "Physical work limits for Toronto firefighters in warm environments". *J Occup Environ Hyg*, 2004, n.º 1, pp. 199-212.
- SMITH, D. L.; PETRUZZELLO, S. J.; KRAMER, J. M., y MISNER, J. E., "Physiological, psychophysical and psychological responses of firefighters to firefighting

- training drills". *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 1996, n.º 67, pp. 1063-1068.
- SMITH, D. L.; PETRUZZELLO, S. J.; KRAMER, J. M., y MISNER, J. E., "The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill". *Ergonomics*, 1997, n.º 40, pp. 500-510.
- SMITH, D. L.; PETRUZZELLO, S. J.; KRAMER, J. M.; WARNER, S. E.; BONE, B. G., y MISNER, J., "The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill". *Ergonomics*, 1995, n.º 38, pp. 2065-2077.
- SMITH, D. L.; PETRUZZELLO, S. J.; KRAMER, J. M.; WARNER, S. E.; BONE, B. G., y MISNER, J., "The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill". *Ergonomics*, 1995, n.º 38, pp. 2065-2077.
- SMITH, D. L. y PETRUZZELLO, S. J., "Selected physiological and psychological responses to live-fire drills in different configurations of firefighting gear". *Ergonomics*, 1998, n.º 41, pp. 1141-1154.
- U. S. Fire Administration, *Firefighter fatalities in the United States in 2007*. Junio de 2008.
- VAILE, J.; HALSON, S.; GILL, N., y DAWSON, B., "Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat". *Journal of Sports Sciences*, 2008, n.º 26, pp. 431-440.
- VON HEIMBURG, E. D., RASMUSSEN, A. K. y MEDBO, J. I., "Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients". *Ergonomics*, 2006, n.º 49, pp. 111-126.
- walking". *Applied Ergonomics*, 2004, n.º 35, pp. 329-335.
- WHITE, M. K. y HODOUS, T. K., "Reduced work tolerance associated with wearing protective clothing and respirators". *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1987, n.º 48 (4), pp. 304-310.
- WILLIAMS-BELL, F. M.; VILLAR, R.; SHARRATT, M. T., y HUGHSON, R. L., "Physiological demands of the firefighter candidate physical ability test". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2009, n.º 41, pp. 653-662.

INSTRUCCIÓN PARA OPERACIONES EN DIVERSOS ESCENARIOS. LA UNIDAD MILITAR DE EMERGENCIAS

Cte. Méd. María del Pilar Hernández Frutos
JESAN UME

Introducción

La Unidad Militar de Emergencias (UME) es un elemento de reciente aparición en las Fuerzas Armadas Españolas, con siete años aproximadamente de existencia, pero que acumula cada día nuevas experiencias por dos razones fundamentales: se encuentra permanentemente en operaciones y se fundó sobre la base de la experiencia previa de sus integrantes. Baste decir que en el último periodo de un año (de julio de 2011 a julio de 2012) ha habido tantas intervenciones como en el periodo de sus cinco años anteriores de existencia operativa.

En sus principios, se incorporaron a la UME profesionales de los ejércitos con capacidades específicas para desarrollar el germen de la unidad (que se llamó Núcleo de Constitución). Al personal de tropa se le pidió un mínimo de tres años de experiencia en filas si bien posteriormente se abrió también a los jóvenes procedentes de la selección continua.

La UME tiene un proceso selectivo para personal de tropa en el que se realiza una valoración similar a las pruebas psicofísicas premisión internacional. A su vez, permite presentarse a las pruebas físicas, que también deben ser superadas (agilidad, resistencia, potencia de tren superior e inferior y soltura acuática). El proceso selectivo se complementa con valoración psicológica y entrevista personal a cargo de profesionales de la UME.

La UME se encuentra permanentemente en operaciones en el territorio nacional y la normativa que regula su proyección internacional está ultimándose en estos días si bien ya se ha realizado una intervención, breve en el tiempo pero intensa en ejecución, en Haití con ocasión del terremoto que asoló su capital en 2010.

Desde hace un año aproximadamente, en que se acreditó el primer equipo USAR de la UME como elemento ligero de búsqueda y rescate urbano (estructuras colapsadas) ante las Naciones Unidas, se vienen creando, instru-

yendo y acreditando nuevos equipos similares en los diversos batallones de Intervención en Emergencias (BIEM) de la UME.

Características generales de la instrucción en la UME

Como unidad militar, la UME mantiene las disciplinas básicas (orden cerrado, ejercicios de tiro, competiciones deportivo-militares, etc.) y se ejercita en las nuevas capacidades que supone la pertenencia a esta unidad: lucha contra el fuego y búsqueda y rescate en todo tipo de terrenos, incluyendo el medio acuático, montaña, estructuras colapsadas, etc.

Ello ha supuesto una pequeña revolución en el medio militar. Si bien es cierto que las FAS tienen capacidad con sus medios materiales y humanos para prestar una triple respuesta integral a la sociedad que ha sufrido un desastre, también lo es que la UME representa la especialización de una GU de las FAS en prestar dicha ayuda.

Cuando la sociedad sufre los efectos de un desastre, precisa superarlo con tres grandes grupos de actuaciones:

- Facultativa: Representa a la ciencia y a la atención directa a la persona ya sea para prestarle ayuda médica, psicológica, social, administrativa, etc.
- Intervención: Representa a la técnica al servicio de la infraestructura social. La reposición de las comunicaciones de todo tipo (desde noticias a desplazamientos) y de los servicios sociales necesarios para superar el desastre: agua potable y suministro de alimentos, restauración de la electricidad, desescombros, retirada de lodos, búsqueda con perros o sistemas electrónicos, rescates a diferente altura o en el agua, apuntalamiento de estructuras amenazadas, etc.
- Seguridad: El control de los accesos al foco del desastre de modo que se garantice el flujo de recursos materiales y humanos, el acordonamiento de estructuras con riesgo de colapso, la evitación de actos vandálicos u otro tipo de ilegalidades, así como la protección a determinados colectivos a cargo de las FCSE y del personal militar en su caso (Policía Militar, personal UME activado). En definitiva, el control del escenario.

La instrucción y superación de la evaluación en las diversas capacidades que caracterizan a la UME es una de las tareas prioritarias de esta unidad y está sujeta a la normativa que se incluye como referencia.

Otro de los puntos “fuertes” es la seguridad. Indudablemente, no es posible cumplir toda la normativa que en el ámbito civil ha ido apareciendo en los últimos años sobre prevención de riesgos laborales. La actividad militar es claramente diferente del ámbito laboral en una fábrica, por ejemplo. Así, la

instrucción está marcada por la seguridad y la actuación de las unidades UME activadas por el cumplimiento de la misión, sin que esto signifique asumir riesgos desproporcionados.

En el marco de la “seguridad”, la UME da gran relevancia a la autoprotección y al soporte vital básico, entre otras destrezas que se exponen a continuación.

Contenidos de la instrucción básica en la UME

La instrucción en la UME comienza con el campamento básico en emergencias (CBE), con una duración total de cinco semanas, régimen de internado, con horarios exigentes y condiciones de vida austeras, que buscan crear un ambiente de emergencia y el logro de las capacidades básicas en el ámbito de la actuación frente a desastres. Su superación, capacidad por capacidad, es obligatoria e inexcusable tanto para la permanencia del profesional (de empleos entre capitán y soldado ambos inclusive) en la unidad como para la capacitación posterior en las diversas especialidades.

El tiempo total de instrucción en cada CBE (230 horas aprox.) se reparte entre los diversos módulos del siguiente modo:

- Lucha contra incendios: 39%.
- Sanidad: 19%.
- Desescombro: 19%.
- Inundaciones: 12%.
- Nevadas: 4%.
- Transmisiones: 4%.
- Aspectos legales: 1%.
- Imagen pública UME: 1%.
- Prevención de riesgos: 1%.

El objetivo final es sentar las bases del futuro técnico en emergencias UME de modo que se obtenga un nuevo modelo de combatiente técnicamente especializado, multifunción, adaptado al esfuerzo y al cumplimiento de la misión, resiliente y capaz de autoprotegerse.

La autoprotección se basa en la competencia profesional, el uso responsable de los materiales de trabajo y equipos de protección y la disciplina personal que es la que realmente crea la cultura de la prevención de riesgos en el nivel más básico.

La resistencia física es fundamental, como también lo es la psicológica. El personal UME se ve expuesto al peligro y a las desgracias que los desastres traen a la sociedad. El drama humano (cadáveres, gritos, ropa manchada de sangre, amputaciones, etc.) no puede bloquear ni distraer al trabajador de la

emergencia del cumplimiento de su misión porque ello puede causar nuevas bajas o víctimas incluso mortales. Por ello, la instrucción básica, además de austera, no está exenta de presión: horarios expandidos, prácticas y teóricas, endurecimiento, habilidades, etc., sin olvidar la responsabilidad legal, la imagen pública y los aspectos psicológicos.

Instrucción sanitaria básica UME

Ha sido una constante en esta unidad desde sus orígenes y, en su momento (hace casi siete años), innovadora.

La sanidad, aún hoy, es una gran desconocida. La instrucción sanitaria ha estado durante mucho tiempo circunscrita al ámbito del personal facultativo y rodeada de un cierto halo de misterio, si bien la sanidad militar se ha ido haciendo eco de las modificaciones en la formación del personal de enfermería en su paso de practicante a ATS y posteriormente de la diplomatura al grado.

Un poco más ralentizada en el tiempo ha venido la formación en el nivel básico de los técnicos en emergencias, tan necesaria en nuestras unidades por varios motivos: la carencia de oficiales médicos, el desarrollo de la profesión de técnico en el medio civil y la imposibilidad de disponer de asistencia facultativa en cada punto del escenario.

Sí se puede, sin embargo, elevar los conocimientos sanitarios básicos de todo el personal de la UME, dando con ello la mayor importancia a lo que de soporte vital básico, triaje, valoración del riesgo vital, extricación e inmovilización, etc., sabe el que menos sabe. Estamos hablando del que no se dedica actividades sanitarias en su día a día frente a la emergencia pero tiene en su mano en un momento dado salvar una vida si dispone de unos conocimientos y un material asistencial básico exento de requerimientos facultativos.

Entre los contenidos de obligada superación que constituyen el Módulo de Sanidad del CBE, se incluyen: reanimación cardiopulmonar básica con desfibrilador semiautomático (DESA) y su variante pediátrica, triaje con el sistema internacional START para adultos, valoración del riesgo vital, autoprotección, quemaduras, síndrome de aplastamiento y por onda de sobrepresión, extricación, inmovilización y movilización de víctimas, etc. Todo ello, con una gran carga práctica y diversos escenarios incluyendo uno nocturno inédito.

Progresivamente, se ha ido instruyendo a los técnicos en Emergencias Médicas, que actúan como instructores auxiliares en simulación y caracterización específica de lesiones, con la finalidad de aportar una dosis razonable de estrés, realismo y recursos de desensibilización a los alumnos. Esta instrucción se man-

tiene y amplía a nivel de unidad subordinada de la UME (BIEM o regimiento) a cargo del personal sanitario y con los recursos de estas unidades.

En la actualidad, el Ejército de Tierra tiene un plan escalonado de formación sanitaria basado, en parte, en la instrucción sanitaria diseñada para el personal UME en general.

Instrucción sanitaria para reservistas en la UME

Con la finalidad de que sirva como toma de contacto y primera aproximación al personal reservista voluntario de las profesiones sanitarias de interés militar (Medicina, Enfermería, Psicología, Farmacia y Veterinaria), también disponen en la UME de un curso específico para estos profesionales de dos semanas de duración, igualmente en régimen de internado y ambiente austero. De las dos semanas, la primera se dedica a la toma de contacto con los materiales y escenarios de los diversos módulos de que consta el CBE, incluyendo la instrucción sanitaria básica, siendo común a todos los alumnos, y la segunda está orientada específicamente a la profesión de cada uno de ellos y los contenidos están relacionados mayoritariamente con la actividad que como tales especialistas desarrollarían de ser activados en la UME.

En el caso de Medicina y Enfermería, se tratan los diversos aspectos de la asistencia SVA prehospitalaria con empleo de las ambulancias de que dispone la UME.

Para Psicología, los contenidos consisten en todo lo relacionado con el perfil del interviniente, las víctimas, el duelo, dar malas noticias, apoyo psicológico al *burn-out*, etc.

Los veterinarios tienen ocasión de visitar una cocina industrial en pleno funcionamiento, perros de vigilancia y buscapersonas, actividades DDD, etc.

Los farmacéuticos dedican su tiempo a la valoración y control de las aguas, manejo de laboratorios móviles de campaña, conocer la producción de material y medicación militar, análisis de drogas, etc.

Todos los profesionales coinciden en clase cuando se exponen los principios y conceptos fundamentales de la superación de desastres así como en dos sesiones de instrucción nocturna, cada vez en un escenario inédito en los que cada profesional asume su papel real y en el que se plantean situaciones que requieren su actuación global. Es de destacar que alguna de las situaciones propuestas a los alumnos con el tiempo ha aparecido en escenarios reales. En otras ocasiones, profesionales sanitarios que no se dedican habitualmente a la asistencia humana deben dejar momentáneamente su especialidad a un lado para asistir en el nivel SVB a alguna víctima con el fin de salvar una vida.

Instrucción sanitaria en ambiente extremo

La diversidad de contenidos se basa en que, incluso en los inicios de la UME, previos a la actual crisis económica, no se contemplaba como posible disponer de personal con una sola especialización. Las estaciones climáticas se suceden marcando un ambiente muy variado y unos riesgos específicos o más probables a lo largo del año. Además, otros riesgos como terremotos son totalmente independientes de la época del año.

En época estival, el mayor riesgo son los incendios forestales; en primavera y otoño fenómenos meteorológicos adversos que implican aludes, riadas, inundaciones, etc., y en invierno, las grandes nevadas y el aislamiento de localidades o inutilización temporal de aeropuertos, etc. El rango de temperatura ambiente puede variar desde los 60°C del monte incendiado a los más de 20°C bajo cero de un desastre invernal, a lo que se puede sumar viento, humedad, etc.

Los riesgos desligados del clima son posibles en todo momento, especialmente los telúricos y de origen tecnológico. Esto puede hacer que las configuraciones de equipos personales y materiales previstos (o en pleno empleo de sus capacidades) deban reestructurarse rápidamente para atender la emergencia sobrevenida. Ejemplos de ello son las lluvias torrenciales durante la época de incendios o, a la inversa, el primer incendio importante fuera de temporada, en plena campaña de nieve.

La participación de efectivos UME en los diversos riesgos exige adquirir capacidades también diversas y complementarias. Ejemplos de ello son la lucha contra el fuego y rescate en montaña (ambiente invernal incluido) o en el medio acuático.

El ambiente en el que se desarrollan estas actuaciones debe estar reflejado desde el principio en la instrucción impartida, con la impronta que la climatología extrema puede hacer presente en cada caso. No se suspende un ejercicio de instrucción en exteriores porque llueva, por ejemplo. Podemos decir entonces que la instrucción UME tiene una gran relación con el entrenamiento en circunstancias extremas. No es infrecuente oír comentarios de los participantes en el sentido de que los ejercicios y pruebas que deben superar son más exigentes que las actuaciones reales. Entendemos entonces que, sobre la base de la adquisición de las destrezas concretas, se ha cumplido el objetivo de la instrucción.

Estas circunstancias vienen dadas por los siguientes condicionantes:

- Climatología desfavorable: No se suspende la instrucción, salvo que entrañe riesgos.
- Presión: Premura de tiempo.

- Presión: El instructor hace muy evidente el hecho de estar siendo evaluado.
- Sobrecarga de horas de instrucción: Los escenarios nocturnos se ejecutan tras un día completo de sesiones teóricas y prácticas que ha podido extenderse a nueve horas.
- Carencia o deterioro intencional de determinados materiales que obligan a adoptar medidas de circunstancias.
- Empleo de figurantes entrenados para responder a las actuaciones del interviniente presentando dificultad creciente o mayores dificultades en aquellas destrezas que necesitan ser mejoradas.
- Desorientación: El empleo de escenarios inéditos donde demostrar las destrezas obliga a controlar el espacio y el tiempo incluso en la oscuridad.
- Sobrecarga de casos a resolver: Escenarios de bajas/víctimas múltiples.
- Interferencias: Figurantes que simulan ser periodistas o familiares que entorpecen la actuación del interviniente.

En el ámbito de la instrucción sanitaria, es obvio que la simulación no puede sustituir plenamente al caso real ya que no se pueden ejecutar en el figurante todas las técnicas asistenciales que puede requerir el caso presentado. Esto es bastante cierto para el nivel de instrucción avanzado que implica técnicas invasivas (acceso óseo o venoso, uso de medicación de emergencia, etc.), aunque se cuenta en la UME con modelos de instrucción donde desarrollar la habilidad manual necesaria para conseguir intubar o colocar una vía venosa, por ejemplo. En el nivel básico se puede simular prácticamente al completo. Ejemplos de ello son las maniobras de volteo e inmovilización de víctimas o el empleo de un DESA de instrucción.

El estrés que pueda faltar en estos casos debido a que ocurre como en el teatro, el figurante (actor) debe esforzarse por engañar a un interviniente (público) que sabe que le están engañando, se sustituye fácilmente por la presión que supone estar siendo observado y pendiente de evaluación y calificación para superar la práctica. Las técnicas evaluadas, además, deben ejecutarse en un tiempo determinado más allá del cual no serán útiles (colocación de torniquetes, uso de hemostáticos, empleo del desfibrilador) y con las medidas de seguridad pertinentes.

Entrenamiento de figurantes para SVB y SVA en la UME

Como se ha visto más arriba, en la UME se está empleando de manera creciente al figurante entrenado para la instrucción sanitaria de los niveles de soporte vital básico (SVB) y, más recientemente, de soporte vital avanzado (SVA).

Generalmente, se trata de técnicos que tienen cierta experiencia en esta unidad y han asistido a más de un CBE en calidad de instructores auxiliares. Su entrenamiento consiste en varias sesiones de caracterización con elementos

maquillaje y prótesis de silicona que simulan lesiones diversas. También se les instruye en la búsqueda de imágenes reales en Internet relacionadas con la patología que se pretende interpretar.

Las patologías a presentar se “estudian” empezando por las generalidades que deben conocer por su condición de técnicos en emergencias, para después pasar a “afinar” el cuadro en función de los lugares anatómicos lesionados y el escenario donde se va a realizar el ejercicio (edificio, vehículo, etc.). Así se elige, por ejemplo, la localización izquierda o derecha de una determinada lesión.

Finalmente, con la ayuda del personal facultativo, se revisa la evolución esperable de las lesiones y el tratamiento estándar al que deberán ser sometidos y al que deberán responder en función de si las técnicas asistenciales les son aplicadas (o no) por parte de los alumnos intervinientes.

Conclusiones

La UME cuenta con un sistema de instrucción básica diverso y ajustado a las características de los escenarios reales en que deberá desenvolverse el alumno en su futuro como profesional de la emergencia.

La instrucción sanitaria básica se considera de suma importancia por las implicaciones que tiene para la supervivencia y minimización de secuelas en caso de accidente. La instrucción genérica y sanitaria para reservistas está orientada al mismo fin. En ambas se cuenta con el apoyo que supone el material de instrucción sanitaria (el mismo que para la asistencia real salvo en el caso del DESA de instrucción) y la incorporación creciente de figurantes que simulan patologías muy concretas apoyándose en una caracterización realista.

El trabajo en ambientes extremos se puede recrear durante la instrucción. En ocasiones, la presión que sobre el alumno ejerce el instructor puede sustituir aproximadamente el menoscabo del estrés que supondría una actuación real.

Bibliografía

Accidentes de trabajo por sobreesfuerzos 2009. Dpto. de Investigación e Información INSHT, Ministerio de Trabajo e Inmigración, julio de 2012.

Real Decreto 246/2006 de 11 de abril (BOE n.º 96) *por el que se establece la organización y el despliegue de la fuerza del Ejército de Tierra, de la Armada y del Ejército del Aire así como de la Unidad Militar de Emergencias*.

Plan general de preparación 2012. Normativa interna de la Unidad Militar de Emergencias, diciembre de 2011.

Orden def/1766/2007, de 13 de junio (BOE n.º 145), *por la que se desarrolla el encuadramiento, organización y funcionamiento de la Unidad Militar de Emergencias.*

IT de IGESAN 03/2012 sobre reconocimientos médicos para la realización de pruebas físicas.

Clasificación y triaje en situación de bajas/víctimas múltiples o masivas: ¿Un escenario extremo?

La clasificación y el triaje son dos técnicas de selección de bajas/víctimas que permiten facilitar el acceso a los mejores medios sanitarios, ya sean asistenciales o de evacuación para la mayoría de los que precisen atención médica.

Los desastres se caracterizan por incluir siempre una amenaza para la vida que en muchos casos se materializa como la situación que denominamos bajas o víctimas múltiples y que podrían incluso ser masivas. En ambos casos las capacidades sanitarias son claramente insuficientes, al menos en los primeros momentos por no encontrarse aún en la escena (algo habitual en los momentos iniciales) o por gran desproporción de medios de ayuda en comparación con las necesidades.

Por otra parte, los elementos de primera salida de los servicios de ayuda frente a desastres o situaciones comprometidas desde el punto de vista médico no cuentan con apoyo sanitario facultativo ni medios de soporte vital avanzado, a veces ni siquiera básico cuando se enfrentan al escenario. Esto es aplicable tanto al medio civil como a las operaciones militares, más aún desde que se empezó a sufrir la actual carencia de oficiales médicos.

La clasificación ha saltado al medio civil al desarrollar estas capacidades prehospitalarias de asistencia a las víctimas, llegando actualmente incluso a disponer de elementos proyectables para asistencia a grandes distancias. El triaje, por el contrario, ha pasado del medio civil, donde se inventó, al medio militar al adquirir progresivamente el personal lego o no facultativo conocimientos de asistencia y evacuación en el nivel básico.

Clasificación y triaje no son lo mismo aunque comparten muchas características y sirven al mismo fin: la mayor supervivencia posible y en las mejores condiciones de las bajas/víctimas.

Ambas técnicas comparten su carácter de proceso de selección, buscar el mayor bien posible para el mayor número de personas, establecer una serie de grupos según el criterio empleado y las características de las bajas/víctimas, la expresión del grupo asignado mediante un código (frecuentemente de co-

lores) y la necesidad de entrenamiento e interiorización de método y objetivos para llevarla a cabo.

Difieren, sin embargo, en que el triaje es un proceso no facultativo, prácticamente desligado de técnicas asistenciales, que no precisa medios o muy pocos, fácil de aprender, generalmente solo empleado en los primeros momentos ya que su objetivo es permitir el acceso inicial a los medios de asistencia y evacuación más adecuados (es decir, justamente los necesarios y no otros), reservando los más sofisticados para aquellos que más los necesiten. La clasificación es, por el contrario, facultativa y asistencial (ligada a la estabilización) y con implicaciones en el destino de la baja/víctima una vez prestada esta primera asistencia. Requiere, además, experiencia en la profesión sanitaria (mejor si es quirúrgica o relacionada con el mundo de las urgencias y emergencias médicas), ya sea en medicina o en enfermería, está ligada al soporte vital avanzado y, por ello, requiere en general medios asistenciales sofisticados, ya sean medicación, aparataje de electromedicina y material sanitario específico.

Cuando el escenario incluye bajas y víctimas múltiples o en masa es cuando ambas técnicas, clasificación y triaje, adquieren su importancia crítica. Imaginemos un colectivo de técnicos (bomberos, policías, escoltas, etc.) intervinientes en un escenario donde las personas que precisan asistencia médica se cuentan por decenas, cientos, incluso miles (atentado terrorista, explosión, hundimiento de túnel, terremoto en área urbana, etc.). Este personal, absolutamente competente en sus cometidos técnicos, puede verse copado por la presencia de tantas personas necesitadas de asistencia médica además de no disponer de conocimientos ni medios para atenderlas. Se trata sin duda de un “ambiente extremo” al que se pueden añadir circunstancias climatológicas igualmente extremas como el estrés, la dificultades de acceso o comunicación y la peligrosidad del medio (incendio, hundimiento de estructuras, fuego hostil...) en el que es preciso ser rápidamente resolutivo.

Saber qué hacer en estos casos indudablemente ayuda a salvar vidas además de proporcionar una visión diferente (el estado en que se encuentran y no solo su número estimado) y ayuda a organizar los apoyos porque aporta a los responsables de la coordinación una visión desapasionada y basada en principios científicos, aunque sean sencillos y por lo tanto aproximados.

Para ellos se inventaron las técnicas de triaje, fáciles de aprender, que con poca observación por parte de este personal no sanitario permiten asignar el ya conocido por todos “código de colores”: rojo, amarillo, verde y negro. Los colores del semáforo están asociados de una manera intuitiva al estado de las bajas/víctimas y aportan una idea muy gráfica de lo que está pasando en el escenario del desastre sea cual sea su entidad.

El que tria no piensa; esto es, no medita sobre el estado de los lesionados, simplemente aplica unas técnicas sencillas fáciles de aprender y de aplicar que le llevan inequívocamente a la asignación de “un color” que representa la necesidad de asistencia inmediata y urgente, diferida o la inoportunidad de enviar tales lesiones a un hospital colapsando así sus capacidades en detrimento de los que necesitan realmente las capacidades hospitalarias de diagnóstico y tratamiento. El proceso de triar lleva, con entrenamiento y comprensión previos del método y su finalidad, muy poco tiempo: unos 20 segundos por ejemplo con uno de los sistemas más universalmente extendidos como es el START. Para triar con él solo es preciso saber valorar la presencia del pulso radial, respiración y relleno capilar así como el estado de consciencia y existen guías muy sencillas para no olvidar los términos del proceso. Existen múltiples ejemplos cinematográficos en los que aparece esta actividad y juegos interactivos para todas las edades sobre técnicas de triaje además de diversos productos informáticos dedicados a la instrucción propiamente dicha.

Hay muchos otros sistemas: SORT, SHORT, SIEVE, etc., además de modificaciones de los mismos a cargo de diversas entidades de emergencias que adaptan a sus necesidades los métodos consagrados por el uso y el consenso.

Hay sistemas “blandos” (tipo SHORT, SIEVE o START, los que asignan altas prioridades a los signos de compensación hemodinámica, de lucha frente al *shock*) y “duros” (tipo SORT, los que asignan altas prioridades cuando aparecen los signos de descompensación). Esto es de gran valor para el personal facultativo que atenderá posteriormente a las víctimas y por ello es preciso que los que trian sepan de qué tipo es su sistema y que esta circunstancia conste en la “marca” que asociamos a los lesionados, ya sea tarjeta, chip, pulsera, gusano de luz, etc., indicando la categoría asignada.

En cualquier caso, todos ellos están ligados a las enseñanzas sobre soporte vital básico que deben adquirir los primeros intervinientes ya sea frente a desastres o en operaciones policiales o militares y deberían ir siempre de la mano junto a las técnicas de autoprotección.

Estas tres “pequeñas” capacidades juntas pueden salvar muchas vidas cuando las circunstancias parecen estar en contra, como sucede en emergencias y desastres y deberían ser entrenadas como parte del bagaje básico de estos profesionales ya sean civiles o militares. El que tria debe estar convencido de que con lo que hace, aunque no disponga de medios ni aplique tratamientos, está ayudando a salvar vidas sobreponiéndose al impacto que, sin duda, produce la visión de lesiones a veces muy graves, la desgracia humana, el olor de la sangre o las quemaduras, etc. En la Unidad Militar de Emergencias, su enseñanza y superación (autoprotección, soporte vital básico y triaje START)

son obligatorias y forman parte de la instrucción básica de la mayor parte del personal.

La clasificación es un proceso generalmente posterior en el tiempo, una vez que la víctima alcanza órganos de tratamiento fijos (hospitales) o desplegables como los que tienen las FAS y algunas ONG. Está asociada, como se vio anteriormente, a la estabilización, entendida esta como los procedimientos para mantener o sustituir adecuadamente las funciones vitales básicas, tener vías seguras de acceso al paciente, aplicar medicación, inmovilizar y proteger frente al medio.

Se trata, por lo tanto, de un proceso asociado al soporte vital avanzado y requiere conocimientos de nivel facultativo. No está tan ligada a normas o fórmulas rígidas como el triaje y depende en gran medida de la *ars medica*, de la experiencia, del ojo clínico. Requiere datos que no se pueden obtener por métodos directos y que proceden de aparataje sofisticado con el que se realiza la monitorización de múltiples aspectos de las funciones vitales y que tiene en cuenta la respuesta del paciente al tratamiento aplicado. Solo tras valorar la respuesta a la estabilización se hace la valoración diagnóstica y de pronóstico que supone la clasificación. Con ella se valora el posible destino del paciente según las circunstancias del escenario (medios de que se dispone, si se puede o no volar, saturación del hospital, si dispone de las especialidades necesarias, si es necesario un centro específico como es el caso de los grandes quemados, etc.).

Hay diversos tipos de clasificación que se adecuan a diferentes escenarios. Cuando la desproporción entre medios asistenciales y necesidades es tal que la primera conclusión es que no son suficientes para atender a todos, cambia el tradicional criterio de ofrecer los mejores medios a los casos más graves y se cambia el concepto de prioridad por el de intentar salvar a aquellos que tienen mayores probabilidades de sobrevivir con la aplicación de actos asistenciales cortos y que requieran pocos recursos humanos y materiales. Así se salva el mayor número posible de vidas.

El trabajo en un escenario como el descrito y la necesidad de aplicar el criterio de bajas/victimas masivas en función de la probabilidad de sobrevivir colocan al personal facultativo en escenario de duda, extremo en el que pesa el riesgo de desperdiciar recursos en pacientes a los que no se podrá salvar y, por el contrario, hacer esperar a otros que requieren una atención inmediata.

La clasificación tiene entidad superior al triaje; incluso la variante más básica y sencilla, ilustrada de modo excelente en la película *Pearl Harbour*, donde un oficial médico encarga a una enfermera no permitir el acceso al hospital a aquellos a los que no pudieran salvar. El encargo estaba exento de método de

valoración, era simplemente confianza en la experiencia y capacidades de la enfermera.

Lamentablemente, los términos “clasificación” y “triaje” aparecen en la bibliografía como sinónimos o glosados en la misma frase para explicar de modo indistinto con uno de ellos en qué consiste el otro.

En contraste con su popularidad, ambas actividades en realidad no son bien conocidas ni se ha generalizado su enseñanza asociada al SVA y al SVB respectivamente, si bien hay muchos profesionales interesados y existen loables intentos por unificar sistemas de triaje civil, a veces denominados clasificación, para el territorio nacional, como el SET (sistema español de triaje), tanto en el medio hospitalario como prehospitario.

Igualmente, las empresas de tecnología informática van presentando en el mercado diversos programas, generalmente de uso hospitalario aunque también hay otros para escenarios externos de emergencia orientados a suprimir las conocidas tarjetas de triaje y a favorecer el mejor seguimiento de las vicisitudes de las víctimas desde el lugar de la lesión hasta, al menos, el primer hospital de destino.

En el medio militar, también en proceso de informatización total con el sistema Balmis, se están haciendo esfuerzos por conseguir un adecuado seguimiento en este caso desde las zonas donde hay operaciones militares de cualquier tipo hasta el tratamiento definitivo y el proceso de rehabilitación en el territorio nacional.

ENTRENAMIENTO EN DEPORTES DE RESISTENCIA DE LARGA DURACIÓN

Jonathan Esteve Lanao
Universidad Europea de Madrid
All In Your Mind SL

¿Estamos preparados para los esfuerzos de larga duración?

Cuando hablamos de esfuerzos de larga duración, a menudo surge la duda sobre la preparación que tiene el ser humano para tolerar ciertos esfuerzos. Al individuo típico de las sociedades occidentales, habitualmente sedentario, le parece que realizar deporte de resistencia de larga duración puede resultar insano. Pese a esas creencias, existen evidencias científicas que apuntan más bien a lo contrario. Por ejemplo, hay quienes han indicado que la naturaleza humana lo que tiene es “intolerancia al estilo de vida sedentario, que conduce a la obesidad, diabetes y patologías relacionadas” (Heinrich, 2001). Existen diversos grupos de investigación e instituciones de gran prestigio con líneas de investigación afines a ello.

Por ejemplo, parece que un estilo de caza característico de diversas tribus que todavía subsisten hoy día es la llamada “caza de persistencia”. Esta modalidad consiste en seguir a la presa, trotando o caminando, desplazándola hacia zonas soleadas, hasta que colapsa de fatiga (Liebenberg, 2008). De hecho, en comparación con otros mamíferos, el ser humano es capaz de desarrollar una capacidad de trote bastante elevada. No puede correr tan rápido como algunos, pero sí puede prolongar durante mucho tiempo una velocidad bastante elevada. Además, sus músculos y tendones han evolucionado para permitir esa posibilidad, no solo en las piernas sino en todo el organismo, para una mejor estabilidad y eficiencia (Bramble y Lieberman, 2004). Más allá, gracias a su inteligencia, ha desarrollado máquinas como la bicicleta para todavía ir más rápido con un coste energético bajo que le permite mantener horas de esfuerzo. Tampoco nada a gran velocidad, pero sí puede prolongar mucho el esfuerzo con una técnica adecuada.

Los genes del ser humano actual apenas se han modificado más allá de un 1% desde la era del paleolítico; además, no hay apenas diferencias entre razas (Voight, 2006), por lo que las principales causas de la diferencia en la actividad física practicada por sus individuos de una u otras raza o lugares deben

atribuirse sobretodo al estilo de vida. Y si comparamos al ser humano con otras especies, existe otra diferencia crucial: la posibilidad de elegir entre moverse o no.

La verdadera pregunta a plantearse es dónde está el límite de la capacidad de resistencia humana, pues realmente estamos preparados para tolerar grandes esfuerzos. En este capítulo daremos algunas pautas generales sobre el entrenamiento de esta capacidad del “largo aliento”. Para intuir dónde está el límite, y lograr grandes gestas deportivas, habrá que pensar que solo si creemos en lo imposible podemos alcanzar lo extraordinario.

Cuánto se puede mejorar

Si a esta determinación férrea queremos ponerle expectativas realistas, un elemento inicial a valorar son los antecedentes de la persona. Se valoran antecedentes de salud y de experiencia deportiva, así como condicionantes materiales y temporales, hábitos de vida y características psicológicas. En relación al rendimiento deportivo, se sabe que existe un límite de mejora en todos estos aspectos; que la fisiología puede mejorar en determinados aspectos hasta ciertos niveles, que los materiales pueden aportar un máximo de beneficio, etc. Basados tanto en los conocimientos científicos en las diferentes disciplinas como en nuestras observaciones como entrenadores en deportistas con gran respuesta al entrenamiento, hemos valorado los límites razonables de dichos aspectos. Con ello, la **figura 32** muestra una tabla sencilla donde intuir qué grado de mejora podría obtenerse en lo que reste de carrera deportiva en una variable del rendimiento.

FACTOR	Desarrollo / Disponibilidad					Suma
	Mínimo	Poco	Medio	Mucho	Máximo	
Puntuación	1	2	3	4	5	
Nivel y respuesta iniciales	X					
Actitud mental		X				
Entrenamiento	X					
Continuidad		X				
Readiness* para la competición			X			
Circunstancias de la competición				X		
Entrenamiento invisible				X		
Medios materiales			X			
Valor puntuaciones	x1	x2	x3	x4	x5	
Pronóstico de mejora (rango de puntuaciones)	8-12	>12-20	>20-28	>28-36	>36-40	20

FACTOR	Desarrollo / Disponibilidad					
	Mínimo	Poco	Medio	Mucho	Máximo	
Desarrollo a esperar	<1%	1-8%	8-15%	>15-25%	>25-35%	<8%

Figura 32: Potencial de rendimiento máximo. Marcar en cada factor un grado de desarrollo o disponibilidad; sumar los de la misma categoría y multiplicarlos por la puntuación correspondiente; sumar todos los valores y observar qué margen de porcentaje de mejora es esperable.

(*) *Readiness*: Se refiere al estado puntual en el que se encuentra la persona en un momento concreto (como por ejemplo, el día de la competición puede que alguien llegue en buena forma pero por una cuestión puntual de salud, como por ejemplo un dolor de estómago, que sería la *readiness*, este rendimiento se vea resentido).

Intensidad fisiológica de la competición

Para orientar un entrenamiento, además de las características del deportista, lo siguiente a conocer es qué características tiene la competición que vamos a realizar. Entendemos por “intensidad fisiológica de la competición” al estrés o carga interna que representa la competición en el organismo.

Como puede observarse en la **figura 32**, el concepto clásico de “estados estables fisiológicos”, que pueden asociarse a producción de potencia o ritmo estable, solo ocurre en algunos casos cuando estamos entrenando (básicamente cuando el nivel de exigencia de la tarea no es elevado respecto a la condición física de la persona, como en la **figura 32 a**). En competición, sin embargo, esto no ocurre. Básicamente, pueden ocurrir dos cosas: el estrés puede ser creciente mientras que la velocidad es estable (**c**), lo cual es un éxito deportivo, incluso con leves descensos del ritmo durante la prueba, que a veces se recupera en la parte final; pero también la intensidad fisiológica puede ser elevada mientras que la velocidad es claramente decreciente (**d**). Debido a que no hay posibilidad de recuperarse durante una pausa del exceso del ritmo inicial (entrenamiento del tipo de la **figura 32 b**), solo puede hacerse un último esfuerzo notorio si la recuperación es amplia. En estas situaciones, especialmente si no hay pausas, se habla de “catástrofe fisiológica” (**d**, estrés progresivo, rendimiento regresivo).

ENTRENAMIENTO

COMPETICIÓN

Considerar la carga interna de la competición es el primer paso para poder periodizar un entrenamiento adecuado. Nos da información al respecto de hasta qué intensidad debemos llegar en el programa, qué intensidades suponen una base general o específica, y si debemos estar preparados para diferentes grados de intensidad durante la misma competición. Los deportes de resistencia

pueden presentar situaciones de estrategia tan diversas que hay que hacer una previsión de la realidad.

Por ejemplo, una prueba de 800 metros libres en natación podría plantearse con una estrategia de ritmo constante al margen de lo que planteen el resto de competidores, ya que no puedo tener una referencia perfecta del resto de nadadores, pero una eliminatoria por puestos en los 1.500 metros lisos en atletismo se afronta con la incertidumbre de tener que estar preparado para diferentes oscilaciones bruscas del ritmo. Y en un triatlón de distancia olímpica se asume que es preciso nadar muy rápido (y con diversos cambios de ritmo), en la bicicleta tolerar varios cambios de ritmo más y correr al final a ritmo más o menos constante con posibilidad de terminar en *sprint*. Esto obliga a plantear métodos de entrenamiento más abiertos a la oscilación del ritmo que los clásicos métodos de las disciplinas originales, pues de lo contrario las opciones para los que quieren ganar se pueden perder muy pronto en la competición (Cejuela, 2009).

Además, existe una situación común en los deportes de resistencia: que la competición no se realiza en entrenamiento, y en los deportes de ultradistancia apenas se llega a hacer nada similar. Por ejemplo, para preparar 400 metros libres en natación, se pueden acumular, con pausas breves, más metros que el total de la competición a intensidades iguales o incluso superiores a la misma. Pero en las competiciones de gran duración, no es posible acumular dicha carga interna en ningún entrenamiento. En algunos casos, se puede acumular el tiempo pero no a la intensidad de competición, mientras que en otros, nunca se entrena el total de la distancia. Por ejemplo, no se pueden hacer 42 kilómetros de carrera en una sesión de entrenamiento, aunque sean fraccionados, a ritmo de maratón. No se hace un Ironman “entrenando despacio” para preparar el de la competición, y no se puede hacer varios días de carrera de ultramontaña seguidos, a alta intensidad durante largo tiempo, como mejor entrenamiento para una competición cercana de similares características. Esta incertidumbre nos lleva a, cuando menos, no obviar qué estará pasando por dentro del deportista (carga interna-intensidad fisiológica) durante ese tipo de esfuerzos.

En todas las pruebas donde la estrategia es llevar un ritmo más o menos constante, las dificultades suelen empezar entre la mitad y el último tercio de competición, pero el éxito final puede haberse echado a perder ya en la primera parte, donde las condiciones fisiológicas eran distintas (menor o nula percepción de fatiga y, por ello, mayor riesgo de derrochar esfuerzos).

Un aspecto clave a considerar es que el tiempo importa más que la distancia. Aunque habitualmente no se compite por tramos temporales sino por distancia, la resistencia no es solo “intenso-dependiente” sino también “tiempo-dependiente”. Esto explica por qué la intensidad fisiológica puede ser creciente pese

a que la velocidad sea constante o decreciente. El clásico concepto de “estado estable”, en el fondo, no existe, pues ninguna intensidad podría mantenerse hasta el límite sin un primer incremento del coste energético acompañado, si la regulación del ritmo no fue adecuada, de un posterior descenso de la actividad neuromuscular y con ello de la potencia generada o velocidad resultante.

Un fenómeno habitual, incluso en entrenamientos no extremos, es el llamado “componente lento del VO_2 ”, algo que puede incluso no percibirse inicialmente (**figura 33**). Representa un signo evidente de fatiga en relación al ritmo impuesto, proviniendo mayormente de una necesidad de reclutamiento extra de unidades motoras (de tipología más glucolítica) que se manifiesta también en un incremento en la concentración de lactato, ventilación, frecuencia cardiaca, amonio y VO_2 . Esto puede ocurrir ya desde el primer umbral fisiológico, y parece más frecuente en acciones como el ciclismo que en la carrera, presumiblemente por el tipo de mecánica y la ausencia de un patrón de estiramiento-acortamiento en los músculos o en el movimiento de los brazos (Mille-Hamard *et al.*, 2000; Billat *et al.*, 1998, y Poole *et al.*, 1991).

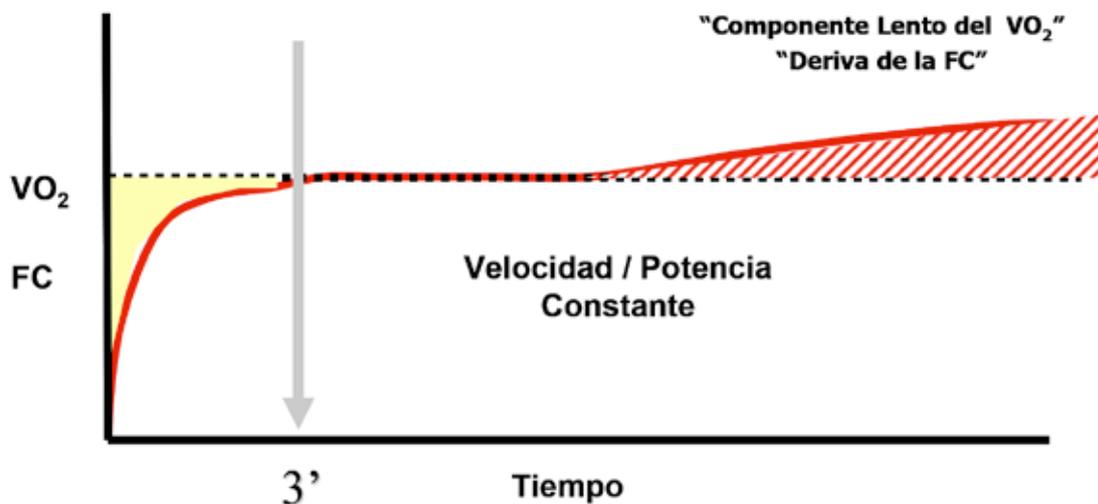


Figura 33: Concepto de componente lento del VO_2 . Se considera el incremento del a partir de los 3 minutos de ejercicio a intensidad constante en relación al final del esfuerzo (VO_2 del final - VO_2 del minuto 3).

En los momentos iniciales de esfuerzo, se produce una importante contribución anaeróbica. El VO_2 y la FC muestran una cinética rápida, hasta que, a intensidades predominantemente aeróbicas, se estabilizan en su aporte preciso. La

tercera fase de la cinética sería el progresivo exceso de VO_2 que ocurra en adelante. Para calcularlo, se toma por consenso el momento de los 3 minutos para asegurar la fase de estabilización y se resta ese nivel de VO_2 al del VO_2 final. Por tanto el componente lento es la diferencia entre el VO_2 final respecto al del minuto 3.

También es razonable que dos deportistas que disputen una misma competición obteniendo marcas muy distintas no estén compitiendo a una misma intensidad fisiológica. Es decir, que si en vez de ese tipo de esfuerzo les pusiéramos a que mantuvieran la misma intensidad fisiológica relativa a un tanto por ciento de VO_{2max} , el que está en mejor forma aguantaría más tiempo. Por tanto, cuando compiten sobre una misma distancia, si las diferencias de marcas son muy grandes, el que tarda menos es capaz de competir a un porcentaje mayor de su VO_{2max} . Esto se desprende del análisis de numerosos estudios que han evaluado variables fisiológicas en competición; la **figura 34** muestra datos al respecto en un ejemplo del maratón.

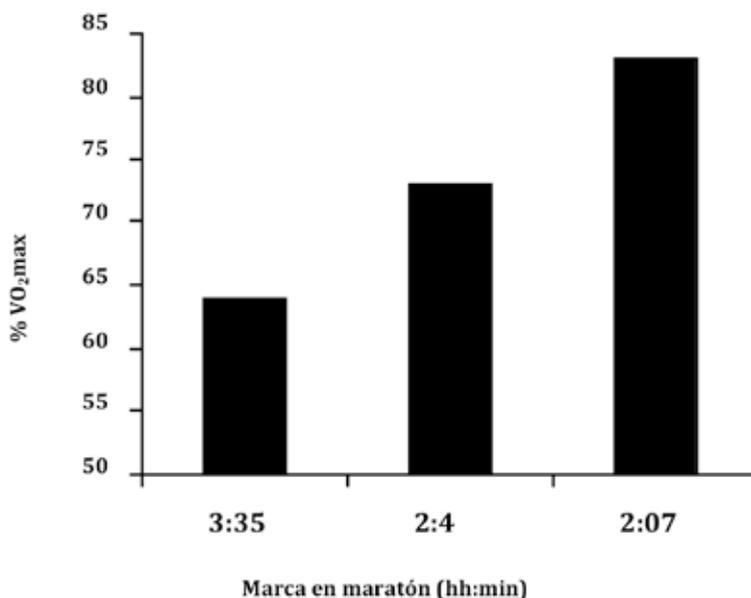


Figura 34: Porcentaje de VO_{2max} promedio para correr el maratón masculino en diferentes marcas.

En todos los casos, la intensidad de la competición en resistencia es sorprendentemente elevada en relación al incremento de la duración de los esfuerzos. La relación intensidad/tiempo sostenible es de tipo asintótico. Dicho de otro modo, a poco que disminuya la intensidad (externa o interna), la capacidad para prolongar los esfuerzos se prolonga extraordinariamente.

Se eligieron los datos de la estimación de Péronnet y Thibault de 1989 y de mediciones directas de O'Brien *et al.* De 1993 porque mostraban una diferencia de velocidades constante entre ellas (23%). Se calculó una caída lineal del porcentaje de VO₂max en relación a la velocidad ($r^2=0,98$) con la ecuación: $(-0,2141 \times \text{minutos de marca}) + 109,51$.

Las relaciones de tiempo límite sostenible a una determinada intensidad fisiológica se muestran en la **figura 35**, que llamamos “regla del seis”. Es una simplificación más nemotécnica que universal, dado que dependerá del nivel de entrenamiento específico de que se tenga capacidad para aguantar semejante tiempo límite.

Potencia anaeróbica fosfagenolítica (*)	~ 6 s
Proporción al 50% aeróbico/anaeróbico (**) Máxima producción de lactato (***)	~ 60 s
vVO ₂ max / pVO ₂ max	~ 6 min
Umbral anaeróbico	~ 60 min
Umbral aeróbico	~ 6 h

Figura 35: “Regla del seis”: tiempos límite aproximados a una intensidad fisiológica determinada, estando muy entrenado y motivado (a partir de los datos de Hawley y Burke, 2000; Greenhaff y Timmons, 1998; Bar-Or, 1977; Billat, 2003; Péronnet y Thibault, 1989; Billat, 2002; Beneke, 2006, y datos personales).

(*) Se ha demostrado que la máxima potencia fosfagenolítica permite una duración de 4 s previo al agotamiento de esta vía energética; esto fue estudiado en contracciones máximas isométricas (Greenhaff y Timmons, 1998). Sin embargo, si esto se aplicase a un trabajo dinámico, con momentos de relajación de los músculos, es previsible que alcanzase a los 6 s, tal como las referencias clásicas hacen referencia (Hawley y Burke 2000). Como referencia de potencia máxima en ciclismo, también se usa la referencia de test de 5 s (Allen y Coggan, 2006) o 6 s de máxima intensidad (Méndez-Villanueva *et al.*, 2008; Edge *et al.*, 2006).

(**) La proporción al 50% del total de la energía necesaria para un esfuerzo máximo entre fuentes aeróbicas y anaeróbicas varía según los cálculos (según autores), y posiblemente según el tiempo de ejercicio. Se asume como referencia más probable 1 min y 15 segundos (Gastin, 2001), pero se redondea aquí a efectos nemotécnicos.

(***) La máxima liberación de energía a través de la glucólisis anaeróbica hace pico en esfuerzos máximos sobre 25-30 s (Bar-Or *et al.*, 1977), pero la salida a sangre total puede generar niveles pico de lactato hasta en esfuerzos de más tiempo (Billat, 2002). También se usa como test de campo de potencia glucolítica en ciclismo (60 s de *sprint*) (Allen y Coggan, 2006); por ello, a efectos nemotécnicos, se indican los 60 s.

Por otra parte, puede que dos deportistas de una misma prueba logren rendimientos similares con características fisiológicas distintas. La **figura 36** muestra dos corredores de 10 km con marcas casi idénticas y perfiles distintos (para una mejor comprensión de los factores que ahí se indican, conviene leer más adelante sobre los factores que determinan el rendimiento).

Para evaluar estos factores se realizan test específicos, ya sea de laboratorio o de campo. Cada tipo de evaluación tiene sus ventajas e inconvenientes, debiendo

contemplarse la relación especificidad versus fiabilidad y los recursos que cada entrenador tiene a su alcance. Pero yendo un poco más allá, la repercusión de extrapolar algo que hemos evaluado en una prueba de poco tiempo sobre modelos de competición de mucha más duración tiene un error añadido.

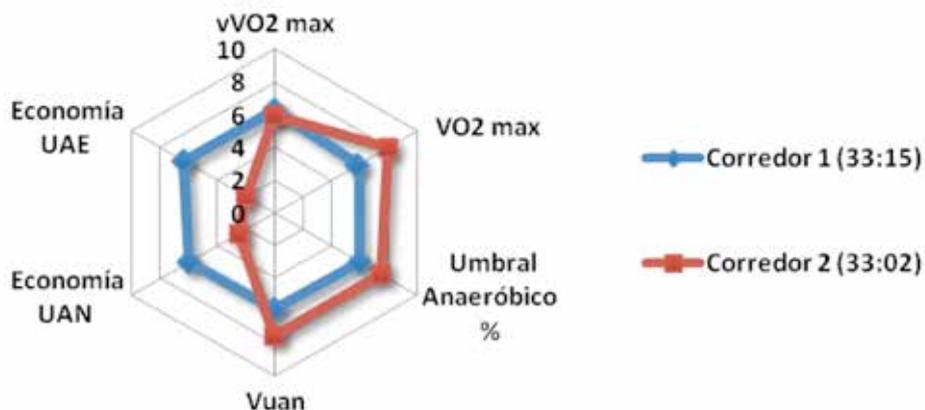


Figura 36: Relaciones entre perfil fisiológico y marcas en carrera de fondo.

Perfiles fisiológicos de dos corredores con marca en 10 km muy similar, donde 0 es un nivel de sedentario sano y 10 un nivel propio de atleta de élite.

Como se ha indicado anteriormente, hay muchos modelos de competición donde todas las predicciones se complican, aun asumiendo condiciones ambientales, orográficas o tácticas constantes y óptimas; como denominador común, se añade la incertidumbre de la fatiga. Como ejemplo, pensemos: ¿dónde está un determinado umbral fisiológico de fatiga extrema? Sin duda, a una velocidad o potencia distintas, y, según condiciones de termorregulación, a pulsaciones más altas. La larga duración modifica el protagonismo en la causalidad de la fatiga. Si la limitación termorreguladora puede ser clave en muchos casos (deshidratación o alcance de temperaturas críticas), la energética también, asociada o no a lo anterior (“me quedé sin gasolina”), condicionando directamente o no la limitación del sistema neuromuscular (dificultades coordinativas, disminución de reclutamiento o claudicación local de algunos músculos) o del sistema musculoesquelético, como la claudicación en estructuras articulares o piel (dolores articulares, rozadoras, ampollas...).

Factores que determinan el rendimiento

Existen unos factores fisiológicos que determinan el rendimiento en cualquier deporte de resistencia. Estos factores son:

- Consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$).
- Umbral anaeróbico (UAN).
- Eficiencia energética.

Capacidad o potencia anaeróbica glucolítica (Cap/Pot Lác).

Fundamentalmente, los tres primeros, y, muy especialmente, la eficiencia energética conforme el esfuerzo se prolonga durante horas. Haciendo una analogía automovilística, la **figura 37** muestra que estos factores interaccionan para la producción final de una velocidad o potencia fisiológica (asociadas a la velocidad o potencia del $VO_2\text{max}$ o al umbral anaeróbico). Esto, junto con la habilidad de prolongar dichas intensidades, es lo que mayormente determina la velocidad o potencia sostenible durante la competición.

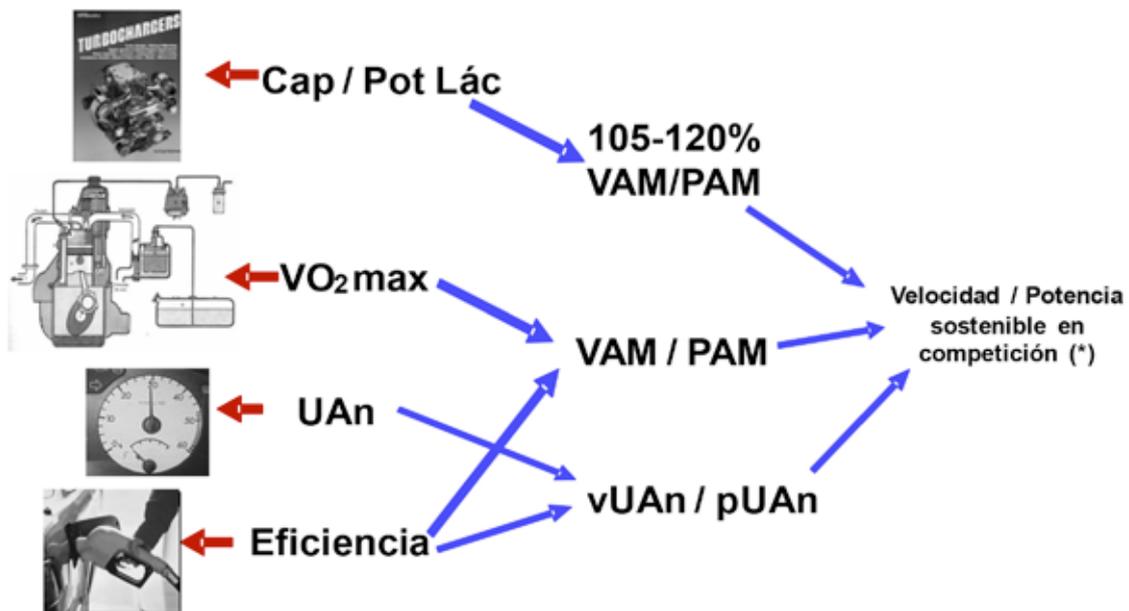


Figura 37: Interacción entre determinantes del rendimiento y resultante en el ritmo de competición (Esteve et al., 2011).

(*) La intensidad de competición dependerá en un grado variable de las respectivas velocidades, incluso de la velocidad de primer umbral fisiológico, según la duración del esfuerzo. Así mismo, si el deporte no es a ritmo constante o se cambia de disciplina como en el triatlón, habrá que relativizar a los diversos umbrales por segmento y a la estrategia de competición.

Cuando evaluamos las características fisiológicas de un deportista, también podemos obtener zonas de entrenamiento. Lo ideal es obtenerlas por zonas fisiológicas, es decir, por momentos en los que ocurre un episodio metabólico particular, que puede reflejarse en referencias con las que luego entrenar, como

la velocidad o potencia, la frecuencia cardiaca o la percepción de esfuerzo. Sin duda, la mejor referencia a asociar es la percepción de una zona metabólica, pero esta debe educarse y cotejarse con dichos episodios metabólicos, no con meras nociones imprecisas. En caso de no tener acceso a esas pruebas específicas, se pueden usar referencias basadas en estándares. La **figura 38** muestra zonas de entrenamiento: fíjese que se establecen cuatro zonas, pero que estas pueden a su vez subdividirse. No se incluyen las zonas por encima de la intensidad de máximo consumo de oxígeno, para el desarrollo de la capacidad y potencia glucolíticas, dado que este capítulo se centra en deportes de la larga duración.

Modelo de 4 zonas	Referencia metabólica	% Estándar de PAM/VAM	Estándar % FC max	Estándar % FC reserva	RPE (0-10)	RPE (6-20)	Tiempo en un entrenamiento (tiempo neto)*
1 (Ligero)		50	45-60	30-40	1-2	8-10	6h(†) a 1h
	UAe	60	61-70	41-55	3	12-13	4,5h(†) a 1h
2 (Moderado)		70	71-79	56-65	5	14-15	3h(†) a 1h
3 (Vigoroso)	UAn	80	80-89	66-80	7	16	60 a 30 min
4 (Muy duro)		90	90-95	81-85	8	17	35 a 15 min
	PAM	100	96-100	86-100	9-10	18-19	15 min a 6 min

Figura 38: Zonas de entrenamiento estándar. Basadas en ACSM 2009, Seiler & Tønnessen 2009, Esteve-Lanao et al 2010.

Abreviaturas: FC max: frecuencia cardiaca máxima real; UAe: umbral aeróbico; UAn: umbral anaeróbico; VAM/PAM: velocidad/potencia aeróbica máxima (velocidad o potencia mínima con la que se llega al VO₂max en un protocolo progresivo).

(*) El tiempo depende del nivel del deportista y en intensidades bajas sobre todo del modo de locomoción (bicicleta o esquí de fondo, por ejemplo, permiten acumular más tiempo que carrera).

Métodos de entrenamiento

Distinguiremos entre fuerza y resistencia, aunque nos centraremos más en esta última. En resistencia a menudo el ejercicio es siempre el específico, a excepción del trabajo “cruzado”. En este sentido, parece claro que la especificidad es importante en el global de los programas, pero que puede perfectamente complementarse con entrenamiento cruzado o suplirse en casos de entrenamiento reducido o lesiones que limiten la práctica específica (Mújika y Padilla, 2000). El efecto del entrenamiento cruzado es sobretodo central, debiéndose

compensar con acciones musculares específicas, con el modo de locomoción específico o con ejercicios de fuerza específicos.

Es fundamental tener en cuenta que las zonas de entrenamiento son específicas de cada medio de locomoción, algo que viene determinado por las propias diferencias motrices, de modo que en cada uno se alcanzará un VO_2 max distinto, umbrales distintos y zonas de frecuencia cardiaca o lactato distintas. Si no es posible realizar pruebas específicas en cada caso habrá que conocer, cuando menos, la VAM/PAM y la FC máxima particular de un modo de ejercicio.

El entrenamiento de fuerza se utiliza tanto para mejorar el rendimiento como especialmente para prevenir lesiones por un elevado número de repeticiones del mismo gesto. Para lo primero, la manifestación específica es la fuerza resistencia cíclica, pero en ejercicios que precisamente respeten las estructuras interna y externa del gesto (esto es, que se parezcan al gesto específico en activación neuromuscular, mecánica y metabólica). Por ello, el mejor ejercicio posible será aquel donde: 1) se realice el gesto específico; 2) haya una ligera sobrecarga; 3) se dé en condiciones de fatiga, y 4) progrese a intensidad fisiológica o velocidad cercana a la de competición. Sin embargo, abusar o precipitarse a usar este tipo de trabajo incurrirá en un riesgo muy elevado de lesiones, por lo que es preciso el desarrollo previo de un programa de prevención de las mismas, donde el desarrollo de la fuerza y/o potencia máxima supone un contenido fundamental del entrenamiento.

Una vez tenemos claras las zonas y tipos de ejercicio, podemos construir nuestros métodos de entrenamiento a partir de criterios para cada nivel de deportista, perfil fisiológico, experiencia previa y tolerancia al entrenamiento. En algunos casos, además, habrá ciertas necesidades específicas (acondicionamiento musculoesquelético especial, carencias técnicas muy marcadas, predominio previo de un tipo de entrenamiento muy particular, etc). Por todo ello, los métodos no pueden ser universales sino adaptados a cada realidad.

Los principales métodos se agrupan respecto a carácter continuo o fraccionado (figura 9). Dentro de los fraccionados, aquellos de tipo intermitente o de intervalos cortos, más habituales en los deportes acíclicos, se usan como forma de introducción de la técnica o de una progresiva intensidad, o como metodología de entrenamientos de muy alta intensidad. Los de tipo “repeticiones” (que reproducen la habilidad de aguantar largo tiempo a alta intensidad) suelen ser los más cercanos a la época de afinamiento para la competición. En la **figura 39** hemos incluido en los de repeticiones a los llamados “métodos de competición”, que sin embargo en algunos casos son un híbrido (p. e. series rotas o simuladoras) con los de intervalos (tramos y pausas breves en altos volúmenes), pero en volúmenes e intensidades alrededor de la competición. Se mantienen ciertas proporciones generales sobre la intensidad, duración total

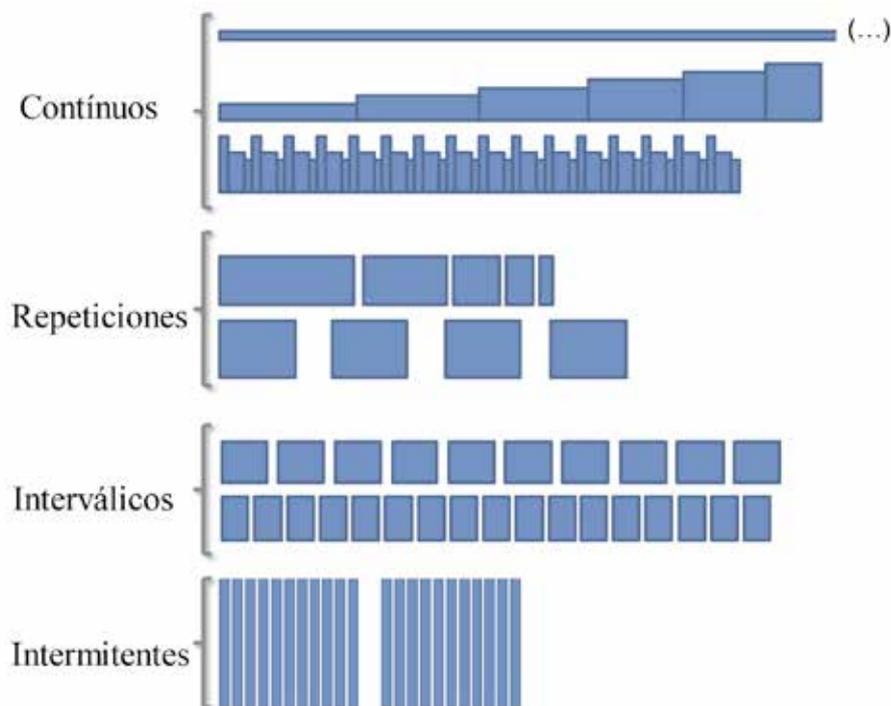


Figura 39: Representación esquemática de los principales métodos de entrenamiento de la resistencia (Esteve et al., 2010).

y proporción de esfuerzo y pausa, a efectos de ofrecer una idea visual de las diferencias entre unos y otros (excepto la duración del entrenamiento continuo de baja intensidad, que debería ser proporcionalmente mucho más largo).

Una de las conclusiones generales de los hallazgos sobre dosis-respuesta en entrenamiento de resistencia (posiblemente aplicable también a fuerza y velocidad) es que para una mejora de una determinada zona, será más o menos necesario trabajar a esa misma intensidad para mejorarla. Cuando el nivel es bajo, especialmente cuando se tiene poca experiencia (principiante), no es necesario trabajar específicamente a esa intensidad, siendo suficiente una intensidad inferior para influir positivamente. En un nivel intermedio, es preciso fijar con precisión la intensidad en la misma zona a desarrollar, y sin embargo, en niveles superiores (de experiencia sobretodo, “avanzados”) parece más efectivo trabajar, al menos también, a intensidades superiores (**figura 40**).

La intensidad necesaria depende del nivel. En el caso de sujetos entrenados, es preciso trabajar a intensidades alrededor de la variable fisiológica “diana” para mejorar su nivel. Sin embargo, en bajo nivel no es necesario trabajar tan intensamente (puede situarse el punto de mira a menor intensidad y se mejora ya notablemente), y en sujetos muy entrenados habrá que trabajar también a intensidades superiores.



Figura 40: Importancia de la intensidad de entrenamiento para mejorar una determinada intensidad fisiológica (Esteve et al., 2010).

Las pautas para el desarrollo de las diferentes zonas anteriormente mencionadas, aplicando los métodos de entrenamiento anteriormente descritos, se resumen en las **figuras 41 a 44** (Esteve-Lanao *et al.*, en prensa). Téngase en cuenta que no todas las sesiones deben ir orientadas al "desarrollo", por lo que a menudo en deportes de resistencia hay dos o tres sesiones de desarrollo de la resistencia en el esquema semanal, y el resto son de mantenimiento o desarrollo por acumulación de dosis bajas. En esos casos, las dosis son inferiores a los máximos indicados por nivel, aproximadamente de entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$.

Nivel	RPE (0-10)	FC estándar (% max)	% PAM	Tiempo total sesión de desarrollo*
Novato	2-3	50-60	40-50	30 min-2h
Intermedio	3-4	60-70	50-60	60 min-6h
Avanzado	2-4	50-70	40-60	90 min-8h

Figura 41: Pautas para el desarrollo de la resistencia de baja intensidad. A desarrollar con métodos continuos.

Nivel	RPE (0-10)	FC estándar (% max)	% PAM	tiempo total sesión de desarrollo*	Longitud de intervalos	Ratio de trabajo: pausa
Novato	4-5	70-75	60-65	20-40 min	4-10 min	- 2:1 a 3:1
Intermedio	5	75-80	65-70	30-90 min	10-20 min	- 3:1 - 4:1
Avanzado	5-6	80-85	70-75	60 min-2h	15-30 min	- 5:1 a 7:1

Figura 42: Pautas para el desarrollo de la resistencia de moderada intensidad. A desarrollar con métodos continuos o de repeticiones largas.

Nivel	RPE (0-10)	FC estándar (% max)	% PAM	Tiempo total sesión de desarrollo*	Longitud de intervalos	Ratio de trabajo: pausa
Novato	6	80	70	10-20 min	2-5 min	1:1 a 2:1
Intermedio	6-7	80-85	70-75	30-40 min	3-20 min	2:1 a 4:1
Avanzado	7	85-90	75-80	50-60 min	5-30 min	3:1 a 5:1

Figura 43: Pautas para el desarrollo de la resistencia de alta intensidad. A desarrollar con métodos de intervalos medios a largos o repeticiones.

Nivel	RPE (0-10)	FC estándar (% max)	% PAM	Tiempo total sesión de desarrollo*	Longitud de intervalos	Ratio de trabajo: pausa
Novato	-	-	-	-	-	-
Intermedio	8-10	95-100	70-75	5-15 min	15 s-2 min	1:1 a 2:1
Avanzado	9->	95- Lác	90-105	8-20 min	1 s-4 min	2:1 a 3:1

Figura 44: Pautas para el desarrollo de la resistencia de muy alta intensidad. A desarrollar con métodos intermitentes, intervalos cortos o repeticiones.

Conclusiones

El ser humano está sobradamente preparado como especie para tolerar esfuerzos prolongados. En función de sus hábitos de vida, será suficiente con estímulos pequeños a baja intensidad para obtener mejoras, y con la adecuada progresión podrá tolerar esfuerzos prolongados a alta intensidad. Las características personales, incluyendo la continuidad y la respuesta inicial al entrenamiento, determinan el grado de mejora esperable.

El primer paso para organizar un entrenamiento adecuado es analizar las demandas de la competición, que dependen de aspectos estratégicos. En estos deportes, la intensidad relativa depende también mucho de la duración del esfuerzo.

Los estímulos óptimos para la mejora del rendimiento dependen del nivel de experiencia. La progresión es clave para evitar lesiones, así como el entrenamiento de fuerza, que es una cualidad que puede limitar el desarrollo de otros aspectos fisiológicos que determinan directamente el rendimiento.

Bibliografía

- ACSM *guidelines for exercise testing and prescription*. ACSM, 8.^a ed., 2009.
- ALLEN, H. y COGGAN, A., *Training and racing with a power meter*. Boulder (Colorado): Velopress, 2006.
- BAR-OR, O., DOTAN, R. e INBAR, O., "A 30 second all out ergometric test: Its reliability and validity for anaerobic capacity". *Israel Journal of Medical Sciences*, 1977, n.º 13, p. 326.
- BENEKE, R., "Transitioning distance specialists (1 hour) to long metric events". *USSF Coaches Seminar*. Salt Lake City: 27-28 de mayo de 2006.
- BILLAT, V.; RICHARD, R.; BINSSE; KORALZSTEIN, J. P., y HAOUZI, P., "The slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue". *Journal of Applied Physiology*, 1998, n.º 85, pp. 2118-2124.
- BILLAT, V., *Fisiología y metodología del entrenamiento*. Barcelona: Paidotribo, 2002.
- BRAMBLE, D. M. y LIEBERMAN, D. E., "Endurance running and the evolution of Homo". *Nature*, n.º 432, noviembre de 2004.
- CEJUELA, R., *Análisis de los factores de rendimiento del triatlón olímpico*. Tesis doctoral. Alicante: Universidad de Alicante, 2009.
- EDGE, J.; BISHOP, D.; HILL-HAAS, S.; DAWSON, B., y GOODMAN, C., "Comparison of muscle buffer capacity and repeated-sprint ability of untrained, endurance-trained and team-sport athletes". *European Journal of Applied Physiology*. Febrero de 2006, n.º 96(3), pp. 225-34. Epub. 19 de octubre de 2005.
- ESTEVE-LANAO, J., CEJUELA, R. y CARDONA, C., "Aerobic training". En: *EHFA's foundations por exercise professionals*, cap. 8. Human Kinetics.
- ESTEVE-LANAO, J., CEJUELA, R. y MENÉNDEZ DE LUARCA, J., "Entrenamiento de la resistencia en deportes cíclicos". En: *Entrenamiento deportivo: Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes*. Madrid: Panamericana, 2010, capítulo 12, pp. 171-193.
- GREENHAFF, P. L. y TIMMONS, J. A., "Interaction between aerobic and anaerobic metabolism during intense muscle contraction". *Exercise and Sport Sciences Review*, 1998, n.º 26, pp. 1-30.
- HAWLEY, J. y BURKE, L., *Rendimiento deportivo máximo*. Barcelona: Paidotribo, 2000, pp. 52-65.
- HEINRICH, B., *Why we run. A natural history*. New York: Harper Collins Publishers, 2001.

- LIEBENBERG, L., "The relevance of persistence hunting to human evolution". *Journal of Human Evolution*, 2008, n.º 55, pp. 1156–1159.
- MÉNDEZ-VILLANUEVA, A., HAMER, P. y BISHOP, D., "Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity". *European Journal of Applied Physiology*, julio de 2008, n.º 103 (4), pp. 411-419.
- MILLE-HAMARD, L.; BILLAT, V.; Koralzstein, J. P.; DEMARLE, A., y LAFFITE, L., (2000). "Oxygen-pulse steady state allows estimation of VO_2 by heart rate monitoring in a severe submaximal run". *Biology of Sport*, vol. 17, pp. 389-399.
- MÚJICA, I. y PADILLA, S., "Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I". *Sports Medicine*, 2000, n.º 30, pp. 79-87.
- O'BRIEN, M. J., VIGUIE, C. A., MAZZEO, R. S. y BROKKS, G. A., "Carbohydrate dependence during marathon running". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1993, n.º 25, pp. 1009-1017.
- PÉRONNET, F. y THIBAUT, G., "Mathematical analysis of running performance and world running records". *Journal of Applied Physiology*, 1989, n.º 67, pp. 453-465.
- POOLE, D. C., SCHAFFARTZIK, W., KNIGHT, D. R. *et al.*, "Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans". *Journal of Applied Physiology*, 1991, n.º 71, pp. 1245-1253.
- SEILER, S. y TØNNESEN, E., "Intervals, thresholds, and long slow distance: The role of intensity and duration in endurance training". *Sportscience*, 2009, n.º 13, pp. 32-53.
- VOIGHT, B. F., KUDARAVALLI, S., WEN, X. y PRITCHARD, J. K., "A map of recent positive selection in the human genome". *PLOS Biology*, 2006, n.º 4, e72.

LÍMITES GENÉTICOS DEL ENTRENAMIENTO

Félix Gómez Gallego
Thomas Yvert
Universidad Europea de Madrid

Consideraciones iniciales

Existen numerosas y diferentes definiciones del término “genética”, aunque de una manera genérica se puede definir como la parte de la Biología que se ocupa del estudio de las variaciones entre individuos y de las bases hereditarias. El término “genética” procede del griego “génesis” y hace referencia al concepto del origen. En términos más prácticos, el estudio de la genética hace referencia a todo lo relativo al ADN, tanto de su estructura como de su función.

Esta introducción puede servir como punto de partida para formular las siguientes preguntas:

¿Hasta qué punto las características genéticas de un individuo pueden tener influencia en su rendimiento deportivo? El deportista, ¿nace o se hace?

Estas preguntas se abordaron por primera vez en los años 60 del siglo pasado cuando un grupo de científicos investigó por primera vez ciertos marcadores biológicos sanguíneos en atletas olímpicos y en sujetos control. Sin embargo, no fue hasta la década de los años 90 cuando se empezaron a investigar marcadores a nivel de ADN.

El ADN representa las siglas de una molécula cuyo nombre completo es el ácido desoxirribonucleico, y que está presente en el núcleo de la mayor parte de los 50 billones de células de las que consta el organismo humano. Desde el punto de vista de su composición, está constituido por aproximadamente 3.000 millones de unas estructuras químicas denominadas nucleótidos. La función principal de esta molécula es la de albergar la información genética que pasa de una generación a la siguiente mediante su empaquetamiento en forma de cromosomas, todo ello a través de complejos procesos biológicos.

Aunque el interés por el estudio del ADN data de mucho tiempo atrás, ha sido a principios del siglo XXI cuando se ha producido un gran progreso en su conocimiento gracias a la eclosión del denominado *Proyecto genoma humano*, que permitió obtener un borrador de la composición del ADN humano en 2001 para finalizar el proyecto en 2003 con la elucidación del orden de los nucleótidos que componen la secuencia del ADN. De esta manera, se llegó a la conclusión de que nuestro ADN tiene del orden de 35.000 genes, es decir, regiones de ADN que contienen la información genética para la síntesis de proteínas específicas que realizarán alguna función biológica dentro de nuestras células.

A continuación, de una manera resumida, se describen las principales características y propiedades del ADN:

- La molécula de ADN es una molécula universal. Está presente en todos los organismos vivos: desde bacterias a animales y plantas, aunque también está presente en los virus, que son entes acelulares.
- Es la base de la herencia. La molécula de ADN es portadora de toda la información genética que pasa de una generación a la siguiente.
- Contiene todas las instrucciones necesarias para la formación de un organismo nuevo. Tras la fecundación, el embrión y después el feto se van a desarrollar gracias a la información genética codificada en el ADN, procedente del óvulo y el espermatozoide.
- El ADN posee el control de todas actividades y estructuras de las células durante el tiempo de vida del organismo: a través de los mecanismos de la transcripción y la traducción, la información genética del ADN se va a traducir en proteínas que son las que van a realizar las principales funciones celulares.
- La información codificada por el ADN es idéntica para todas las células del organismo. Sin embargo, no todos los genes se expresan por igual en los diferentes tejidos (o células) ni a lo largo de toda la vida del individuo, sino que se activan en ciertos momentos y en ciertas células de determinadas partes del organismo en respuesta a una serie de señales.
- Es invariable durante el periodo de vida del organismo. Por ejemplo, en un diagnóstico genético esta característica es crucial, ya que una prueba realizada en dos momentos distintos de la vida del individuo tienen que ser inexcusablemente coincidentes en el resultado.
- Esta información es única para cada individuo de cada especie. Los individuos son genéticamente diferentes unos de otros, las secuencias de ADN no son exactamente idénticas.
- Es susceptible de cambiar. Durante el proceso de replicación se pueden cometer errores, dando lugar a mutaciones, las cuales pueden ser favorables (mejor adaptación al medio) o desfavorables (ocasionan algún tipo de enfermedad).

Estas dos últimas características permiten establecer las diferencias entre unos individuos y otros; se estima que aproximadamente puede existir una diferencia de un 0,01-0,1% entre las secuencias de ADN de dos individuos, o lo que es lo mismo, aproximadamente uno de cada 1.000 o 10.000 nucleótidos es estadísticamente diferente entre dos individuos.

Este hecho, que de manera complementaria se relaciona con el concepto de mutación genética, es el que enlaza con el término de *polimorfismo genético*, es decir, la existencia dentro de los individuos de una población de diferentes variantes genéticas asociadas a un determinado gen. Para que estas variaciones puedan considerarse polimorfismos genéticos, la variación debe apare-

cer al menos en el 1% de la población. Estas variaciones habitualmente son consecuencia de cambios muy pequeños en el ADN (en ocasiones, un único nucleótido) pero con efectos relevantes en las funciones de las proteínas para las cuales codifican.

Genética y deporte

El rendimiento deportivo se puede entender como una resultante de la acción combinada de una serie de variables, unas externas (entrenamiento, ambientales, nutricionales, etc.) y otras internas, donde los principales componentes están representados por los caracteres individuales heredables, que desde el punto de vista fisiológico y funcional hacen referencia a los genes.

De esta manera, se puede concluir que el talento, entendido como ese fenotipo asociado a una alta predisposición al rendimiento deportivo, va a ser el resultado de la acción del genotipo en un determinado ambiente externo.

Así, desde el punto de vista del genotipo, de los 35.000 genes que tiene el ADN humano, aproximadamente 200 han mostrado alguna asociación con el rendimiento deportivo, de manera que algunas variantes genéticas en genes relacionados con ciertos procesos metabólicos, genes que afectan a la producción de energía o genes que afectan a la estructura muscular pueden influir en la manifestación de los diferentes fenotipos.

En este contexto, en la presente comunicación se muestran y discuten algunos de los genes más importantes relacionados con el rendimiento deportivo y se indica la repercusión de sus variantes genéticas (polimorfismos genéticos) en los mecanismos de respuesta al entrenamiento.

De una manera genérica, los diferentes genes y sus polimorfismos que se asocian al rendimiento deportivo se pueden agrupar en dos grandes categorías:

- Genes que afectan a la estructura muscular.
- Genes con una función de tipo cardiorrespiratorio, donde se pueden ubicar aquellos que afectan a la producción de energía y los que intervienen en diferentes procesos metabólicos.

Genes que afectan a la estructura muscular

Alfa actinina 3 (ACTN3)

El gen de la α -actinina 3 (ACTN3) está situado en el cromosoma 11 y codifica para una proteína de 901 aminoácidos. La proteína codificada por este gen es fundamental en el proceso de contracción muscular: se localiza a nivel de las líneas Z de los sarcómeros con la función de anclarse a los filamentos de actina

e interactuar con ellas mismas y con otras proteínas estructurales de manera que colaboran activamente con esta superestructura de generación de la fuerza contráctil. En la imagen de la figura 45 adjunta se representa la estructura del sarcómero del músculo esquelético, mostrando la ubicación de la ACTN3 y su papel en el proceso de contracción muscular (Clark et al., 2007).

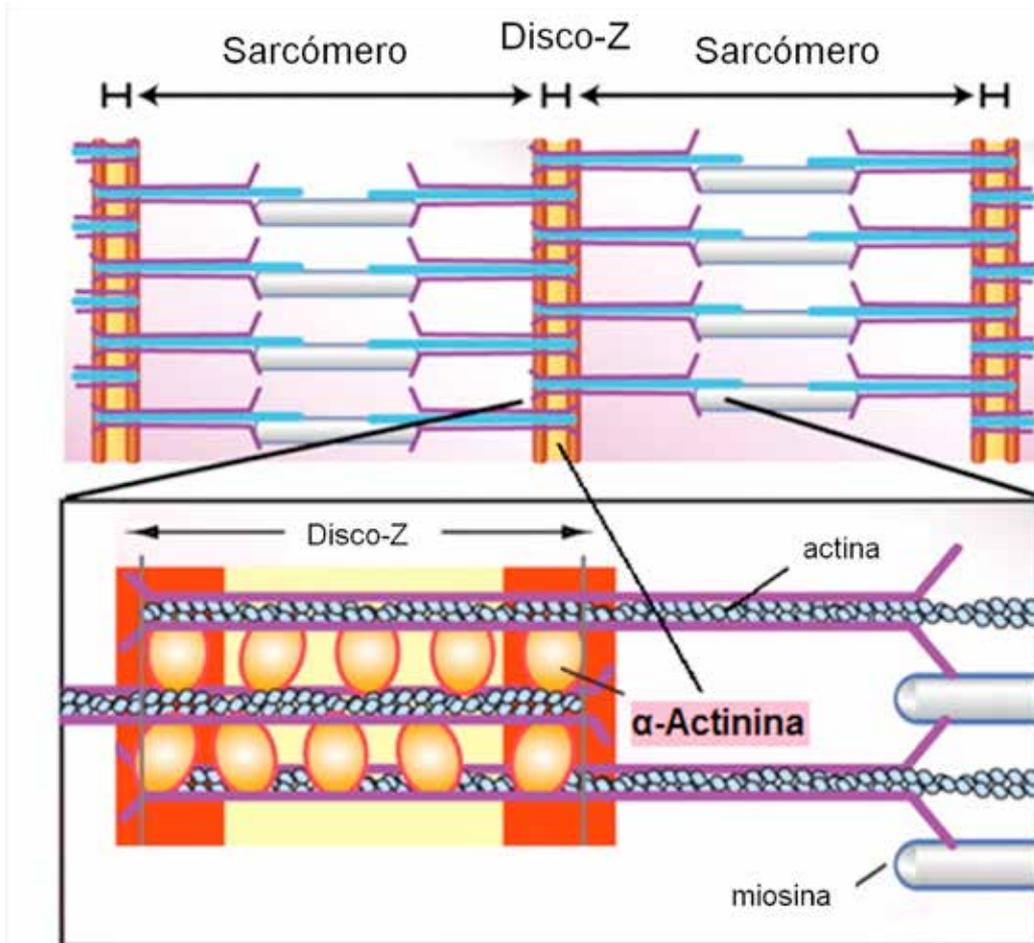


Figura 45: Estructura del sarcómero del músculo esquelético mostrando la ubicación de la ACTN3 y su papel en el proceso de contracción muscular (Clark et al., 2007).

Existen dos genes de α -actinina específicos de músculo en humanos: ACTN2 y ACTN3. La ACTN2 se expresa en todas las fibras musculares, mientras que la expresión de la ACTN3 está limitada casi exclusivamente a las fibras de tipo II (fibras rápidas). En el gen de la ACTN3 se ha identificado un polimorfismo genético “sin sentido” frecuente en la población general de varios grupos étnicos. Esta mutación se conoce como R577X y es una transición de C a T en el nucleótido 1747 del exón 16 del gen que produce un codón prematuro de terminación X (codón *stop*) en la posición 577 en lugar del aminoácido arginina R, dando lugar de esta manera a una proteína truncada.

Se estima que aproximadamente el 16% de la población mundial tiene una deficiencia genética en la α -actinina 3, ya que la frecuencia del genotipo deficiente 577XX va desde el 25% en poblaciones asiáticas a un 1% en algunas poblaciones africanas pasando, por un 18% de frecuencia en población europea. No obstante, el genotipo “nulo” deficiente en α -actinina 3 577XX no produce fenotipo de enfermedad alguno.

Number and Frequency (%) of ACTN3 Genotypes and Frequency (%) of ACTN3 Alleles in Controls and Elite Sprint/Power and Endurance Athletes

GROUP (<i>n</i>)	NO. (%) WITH GENOTYPE			ALLELE FREQUENCY (%)	
	RR	RX	XX	R	X
Male:					
Controls (134)	40 (30)	73 (54)	21 (16)	57	43
Sprint (72)	38 (53)	28 (39)	6 (8)	72	28
Endurance (122)	34 (28)	63 (52)	25 (20)	54	46
Female:					
Controls (292)	88 (30)	147 (50)	57 (20)	55	45
Sprint (35)	15 (43)	20 (57)	0 (0)	71	29
Endurance (72)	26 (36)	25 (35)	21 (29)	53	47
Total:					
Controls (436)	130 (30)	226 (52)	80 (18)	56	44
Sprint (107)	53 (50)	48 (45)	6 (6)	72	28
Endurance (194)	60 (31)	88 (45)	46 (24)	54	46

Figura 46: Resultados publicados por Yang et al. en 2003, donde se muestra una prevalencia más elevada del alelo R y del genotipo RR en velocistas que en atletas de resistencia o controles de población general, tanto en hombres como en mujeres.

A pesar de su falta de asociación con fenotipos de enfermedad, algunos estudios han demostrado una asociación significativa entre el genotipo de ACTN3 y el rendimiento atlético. En este sentido, atletas de velocidad de élite presentan una frecuencia significativamente más alta del alelo 577R que los controles. Esto sugiere que la presencia de α -actinina 3 tiene un efecto beneficioso en la generación de contracciones musculares potentes o “explosivas” y proporciona una ventaja evolutiva, debido al incremento de rendimiento de velocidad. Por ello, a este gen se le ha denominado el gen de la velocidad. En la tabla de la

figura 46 adjunta se muestran los resultados publicados por Yang *et al.* en 2003 donde se muestra una prevalencia más elevada del alelo R y del genotipo RR en velocistas que en atletas de resistencia o controles de población general, tanto en hombres como en mujeres.

Aunque se ha descrito una clara asociación del alelo R a deportes de fuerza-potencia, existe todavía, sin embargo, cierta controversia acerca de un supuesto efecto favorable del alelo X con la resistencia muscular, encontrándose en la literatura diferentes artículos con resultados opuestos.

Miostatina (MSTN)

El gen que codifica para la miostatina (MSTN) está localizado en el cromosoma 2, y codifica para una proteína de 375 aminoácidos. La miostatina también es conocida como el factor de crecimiento/diferenciación 8 (GDF-8). La miostatina circula en sangre en una forma inactiva que por acción de una proteína denominada BMP-1 se convierte en una forma activa, mientras que la miostatina activa se une a su receptor con una alta afinidad y regula la expresión de diferentes genes.

La miostatina es secretada por las células musculares y actúa sobre estas mismas células para inhibir su crecimiento, constituyendo un factor limitante al desarrollo muscular. La miostatina afecta específicamente a las células musculares debido a su capacidad para inhibir la proliferación de mioblastos por control del ciclo celular también a través de la inhibición de su diferenciación terminal a miotubos.

El papel de la miostatina en el músculo esquelético fue descubierto a través de ratones transgénicos sin el gen MSTN, los cuales mostraron hasta el doble de masa muscular y menor tejido graso en relación con ratones control. Efectos similares se observaron en presencia de mutaciones naturales en el gen de la miostatina en bovinos, ovejas, perros y humanos.

La sobreexpresión de miostatina conduce a la reducción de la masa muscular, sugiriendo que la miostatina es un regulador negativo del crecimiento del músculo esquelético. Durante la embriogénesis, la miostatina se expresa exclusivamente en el músculo esquelético para controlar la diferenciación y la proliferación de los mioblastos, pero en la edad adulta no solo está restringido al músculo esquelético, sino que también se detecta en otros tejidos (por ejemplo, corazón, tejido adiposo o glándula mamaria).

En humanos se ha reportado una mutación en un intrón del gen de la miostatina que se ha asociado a un espectacular desarrollo muscular en un niño. El caso, publicado en el año 2004, muestra la situación de un recién nacido con un desarrollo extraordinario de los músculos de los muslos y de los antebrazos. El

análisis molecular del gen de la miostatina mostró la existencia de una mutación en el intrón 1 del gen y como consecuencia de esto la ausencia de miostatina, lo cual provocaba esta hipertrofia muscular.

En las siguientes fotografías de la **figura 47** se muestran imágenes del niño con esta mutación a los 6 días de edad (izquierda) y a los 7 meses (derecha). Las puntas de flecha indican los músculos que sobresalen del muslo del paciente y de los gemelos (Schuelke *et al.*, 2004).

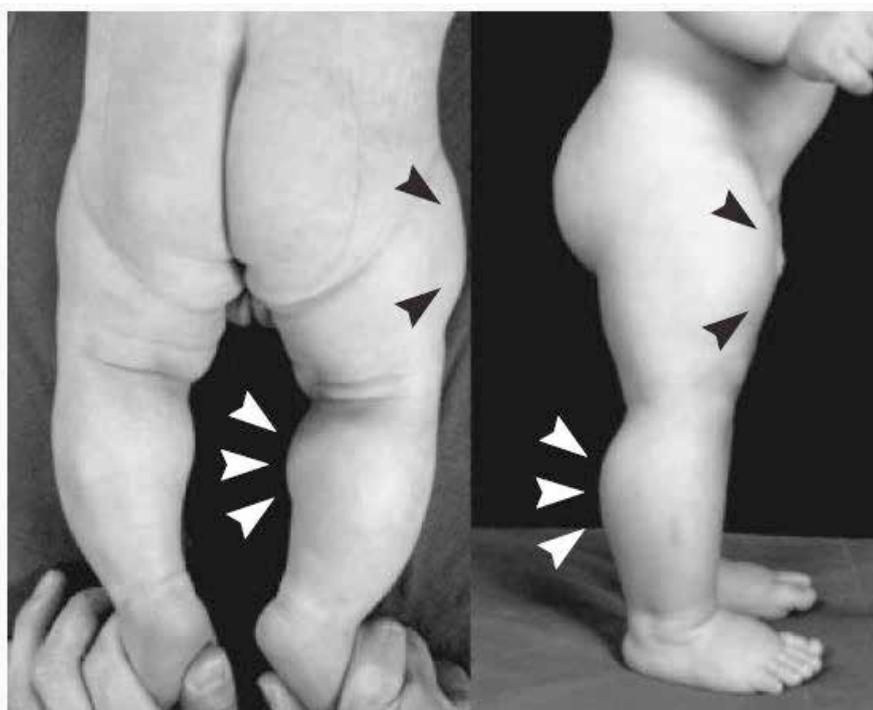


Figura 47: Niño con mutación a los seis días de edad (izquierda) y a los siete meses (derecha). Las puntas de flecha indican los músculos que sobresalen del muslo del paciente y de los gemelos (Schuelke *et al.*, 2004).

De manera adicional a esta mutación, que no es considerada un polimorfismo genético (ya que su frecuencia no alcanza al 1% de la población general), se han descrito cinco sustituciones *missense* (de cambio de sentido) localizadas en el exón 1 del gen *MSTN* (A55T) y en el exón 2 (K153R, E164K, P198A e I225T). Las variantes A55T y K153R son polimórficas en la población general, con frecuencias alélicas significativamente diferentes entre caucásicos y afro-americanos. Algunos artículos observaron una posible asociación del alelo R del polimorfismo K153R con una disminución de masa muscular, capacidad funcional muscular, fuerza y potencia muscular en humanos (Santiago *et al.*, 2011).

También existen varios estudios que han analizado el papel de la miostatina en la adaptación de los músculos esqueléticos al ejercicio físico, y se ha podido

verificar una vez más su acción en el crecimiento muscular. Por ejemplo, se han observado aumentos en la expresión de la miostatina en estados musculares como la atrofia muscular inducida por glucocorticoides, en músculos cardiacos después de un infarto y en estados de descarga muscular, de pérdida de masa muscular en pacientes con VIH o de atrofia muscular por falta de uso, así como en músculos dañados por miotoxinas. Por el contrario, se han observado disminuciones de expresión con el entrenamiento de fuerza o durante la regeneración muscular.

Genes que afectan a diferentes procesos metabólicos

Gen del coactivador 1α del receptor α proliferador activado de peroxisomas (PPARGC1A o PGC- 1α)

El gen del coactivador 1α del receptor α proliferador activado de peroxisomas (PPARGC1A o PGC- 1α) está ubicado en el cromosoma 4 y codifica una proteína de 798 aminoácidos. Es un coactivador de un conjunto de genes de la fosforilación oxidativa que controlan la transformación y oxidación de glucosa y lípidos, la formación de fibras de músculo esquelético y la biogénesis mitocondrial.

En este sentido, presenta altos niveles de expresión en los tejidos donde las mitocondrias son abundantes para mantener el metabolismo oxidativo activo, como el tejido adiposo marrón, el corazón y los músculos esqueléticos. Su expresión es alta también en el cerebro y los riñones, siendo menor en el hígado y en el tejido adiposo blanco. El PGC- 1α induce una remodelación de la composición de las fibras de los músculos esqueléticos, cambiando el ratio fibras tipo IIb/fibras tipo I o IIa a favor de las fibras más oxidativas (tipo I o IIa). Además, el entrenamiento, tanto de resistencia como de velocidad, aumenta la expresión de PGC- 1α en los músculos esqueléticos de humanos y animales.

Se ha descrito un polimorfismo en el gen PGC- 1α que implica un cambio de una glicina por una serina en el aminoácido 482 de la proteína (Gly482Ser). El alelo 482Gly tiene un efecto positivo sobre la eficiencia del entrenamiento aeróbico al aumentar el estado físico aeróbico y la sensibilidad a la insulina, mientras que el alelo 482Ser, “desfavorable” –asociado con un peor perfil “cardiometabólico” (mayor riesgo de diabetes tipo II/resistencia a la insulina, hipertensión, obesidad o hiperlipidemia)–, tiene un efecto negativo sobre el umbral anaeróbico y sobre la capacidad aeróbica. Además, varios estudios de caso-control encontraron menor frecuencia del alelo 482Ser en atletas de élite de resistencia en comparación con controles sedentarios.

En la tabla de la **figura 48** y en el gráfico de la **figura 49** adjunta se muestran los resultados publicados por Lucía *et al.* en 2005 donde se muestra una menor prevalencia del alelo 482S en atletas de resistencia frente a otro tipo de sujetos.

Trait	Cases: Spanish (n = 104)		Fit Controls: UK (n = 100)		Unfit Controls: UK (n = 100)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Age, yr	26.8	3.8	46.2	8.2	49.3	8.1*
Height, cm	176.5	6.1	176.2	6.6	175.3	6.1
Weight, kg	64.2	6.7	80.6	12.1	85.0	13.2*
BMI, kg/m ²	20.6	1.5	25.9	3.4	27.6	3.9*
$\dot{V}O_{2max}$, ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	73.4	5.7	41.2	6.2	29.4	3.8*
$\dot{V}O_{2max}$, l/min	4.70	0.6	3.32	0.7	2.49	0.5*

$\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen uptake; BMI, body mass index; UK, United Kingdom. Student's *t*-test for difference between cases and unfit controls: **P* < 0.0001.

Figura 48: Resultados publicados por Lucía et al. en 2005, donde se muestra una menor prevalencia del alelo 482S en atletas de resistencia frente a otro tipo de sujetos.

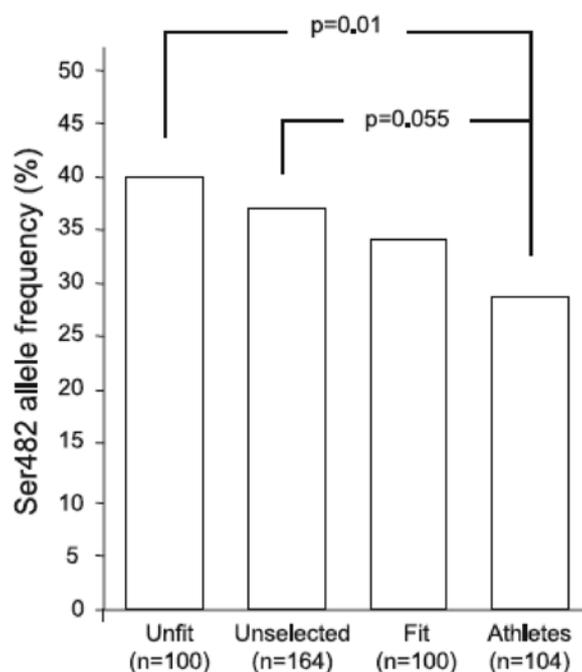


Figura 49: Resultados publicados por Lucía et al. en 2005 donde se muestra una menor prevalencia del alelo 482S en atletas de resistencia frente a otro tipo de sujetos.

Creatin kinasa muscular (CK-MM)

La CK es una enzima que funciona como un dímero formada por dos subunidades monoméricas denominadas M (muscular) y B (cerebral), las cuales se combinan para formar tres isoenzimas que se expresan en tejidos diferentes. Así, la isoenzima CK-BB se expresa en músculo liso, cerebro y tejido nervioso, la MB se expresa fundamentalmente en músculo cardíaco y la CK-MM se expresa a nivel del tejido muscular esquelético.

El gen de la creatin kinasa muscular está localizado en el cromosoma 19, mientras que el de la CK cerebral se ubica en el cromosoma 14. La función principal de esta enzima está relacionada con el mantenimiento de los niveles de ATP intracelulares, sobre todo en tejidos de alta demanda energética.

Su papel clave en el metabolismo energético la ha hecho ser considerada un candidato idóneo para estudiar su asociación con el rendimiento en deportes de resistencia. En este gen se ha identificado un polimorfismo genético en la región 3 no codificante que tiene relación con su expresión genética y por lo tanto con su tasa de actividad. Así, la forma del gen denominada 1170 pb representa una forma poco frecuente (en población general) y se asocia a una mayor actividad enzimática CK, mientras que la denominada 985+185 pb es mucho más frecuente en población general, al tiempo que se asocia a una menor actividad enzimática.

De esta manera, las fibras musculares lentas (tipo I) presentan una menor actividad enzimática CK, de forma que la variante 985+185 pb (asociada a una menor actividad enzimática) podría asociarse con un mayor beneficio en deportes de resistencia (Rivera *et al.*, 1997). En este sentido, las fibras tipo I, con menor actividad enzimática CK-MM, presentan un menor consumo de oxígeno y por lo tanto son más eficientes o económicas que las tipo II, lo cual podría conferir una ventaja en deportes de resistencia.

Enzima convertidora de angiotensina (ECA)

El gen de la enzima convertidora de la angiotensina I (ECA) está localizado en el cromosoma 17 y codifica para una proteína de 1.306 aminoácidos.

La ECA está implicada en una cascada molecular compleja conocida como el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA), donde juega un papel importante en la regulación del volumen sanguíneo, de la tensión arterial y del balance de electrolitos, dado que hidroliza la angiotensina I (AT1) para convertirla en la forma fisiológicamente más activa de esta proteína, la angiotensina II (AT2), el más potente agente vasoconstrictor del cuerpo humano y un factor de crecimiento de músculo liso y esquelético.

El precursor de la AT1 es el angiotensinógeno (AGT) que se activa por acción de la renina. Cuando el sistema renal detecta una bajada de la presión sanguínea o de la concentración de Na⁺, la renina activa la transformación del AGT en AT1 en el hígado. A continuación, la AT1 es convertida a AT2, principalmente en los pulmones, por la ECA. La formación de AT2 desencadena una serie de procesos que permiten la recuperación de la presión sanguínea a través de los siguientes mecanismos de respuesta: (i) activación del sistema simpático; (ii) mayor reabsorción tubular de Na⁺ y Cl⁻, excreción de K⁺ y retención de H₂O, a nivel renal; (iii) se estimula la secreción de aldosterona que interviene también a nivel del túbulo renal; (iv) potente vasoconstricción de arteriolas sistémicas, y (v) activación de la secreción de ADH, favoreciendo la reabsorción de H₂O en el túbulo colector. Además, la ECA es capaz de inactivar la bradiquinina, un vasodilatador e inhibidor de crecimiento, y está implicada en la proliferación de las células de los músculos lisos. Asimismo interviene en la regulación de las reacciones inflamatorias debidas a las lesiones pulmonares, en las vías aéreas, en la eritropoyesis, en la oxigenación de los tejidos y en la regulación de la eficiencia de los músculos esqueléticos.

En la **figura 50** se muestra el papel de la ECA en el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA):

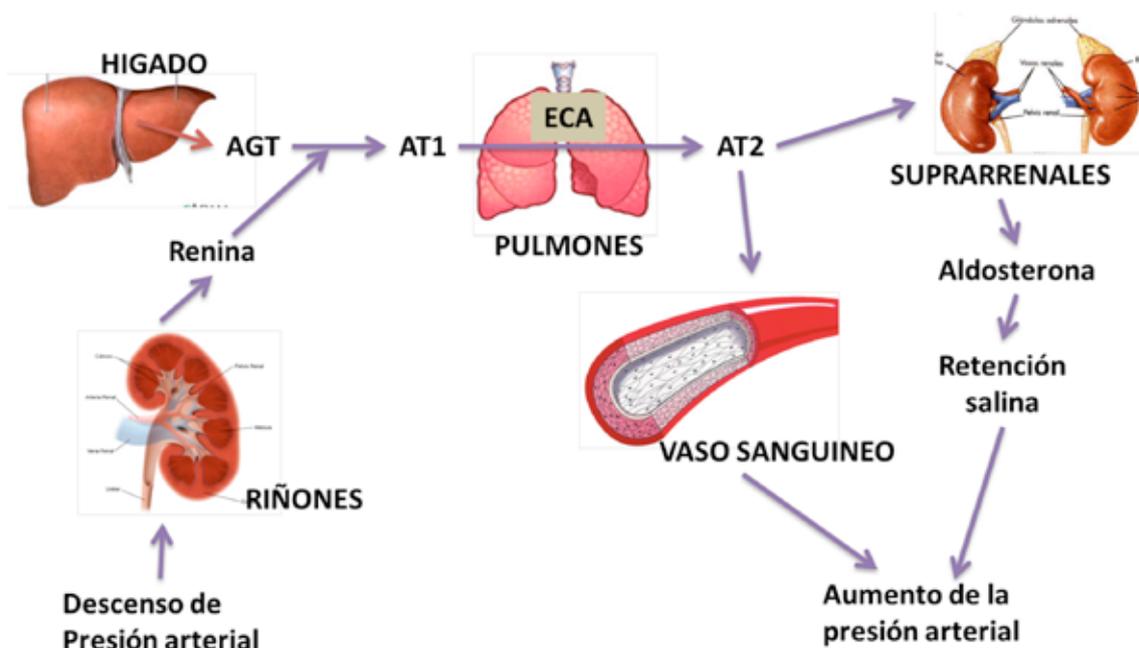


Figura 50: Papel de la enzima de conversión de la angiotensina (ECA) en el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA).

En el año 1988 se demostró que aproximadamente el 50% de la variabilidad interindividual de la concentración plasmática de ECA estaba determinada por una actividad mayor del gen y en 1992 se observó que este incremento de la actividad del gen estaba asociado con un polimorfismo de tipo inserción (I)/delección (D) que implicaba a cerca de 250 bp situadas en el intrón 16 del gen ECA, llamado también polimorfismo I/D de la ECA. Posteriormente, se comprobó que la inserción era una repetición de 287 pb. El alelo D se asocia con un incremento en la actividad sérica de la ECA mientras que el alelo I se asocia con una disminución de esta actividad ECA en suero.

Con respecto a la posible relación del polimorfismo I/D con el rendimiento físico, numerosos estudios han observado una asociación significativa entre el genotipo de ECA y el estatus de ser un atleta de élite. Así, el alelo I de la ECA está asociado con un mejor rendimiento en deportes de resistencia (con un rendimiento limitado por la bomba cardiaca), como por ejemplo alpinistas, remeros o corredores de fondo. La alta frecuencia del alelo I en los atletas de resistencia puede explicarse por la mejora en estos individuos de factores como la eficiencia mecánica del músculo, el porcentaje de fibras lentas de tipo I, VO_2 max, la eficiencia del trabajo aeróbico, la resistencia al cansancio, la oxigenación de los tejidos periféricos o los volúmenes de eyección cardiacos (Ahmetov *et al.*, 2008).

Por otro lado, se ha observado que la actividad circulatoria de la ECA está relacionada con la fuerza muscular, con lo cual el alelo D podría ser el alelo “favorable” para ejercicios de fuerza (Williams *et al.*, 2000). De hecho, diversos estudios han encontrado asociaciones entre el alelo D o del genotipo DD y las características atléticas de fuerza-potencia.

Angiotensinógeno (AGT)

El gen del angiotensinógeno (AGT) está localizado en el cromosoma 1 y codifica para una proteína de 453 aminoácidos.

Su función biológica está muy relacionada con la ECA ya que junto a ella interviene en el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA). El AGT se sintetiza en el hígado y es transformado en angiotensina 1 por acción de la renina (en un paso previo a la acción de la ECA, ver descripción de la ECA). En este gen se ha identificado el polimorfismo genético Met235Thr, que influye en las concentraciones plasmáticas de AGT, las cuales se asocian a su vez con la tensión arterial.

El genotipo TT se asocia con niveles de AGT más altos, lo que supone un aumento del riesgo de padecer hipertensión arterial o una respuesta hipertensiva al ejercicio. También se asocia con un mayor riesgo de enfermedad cardiaca coronaria y de hipertrofia del ventrículo izquierdo en atletas de resistencia.

Además, el AGT es una de las citoquinas liberadas por los adipocitos. En este sentido, se ha descubierto que el genotipo TT del polimorfismo M235T está relacionado con la adiposidad visceral y la hiperinsulinemia en poblaciones obesas femeninas japonesas. Finalmente, varios artículos han observado que el alelo T del polimorfismo M235T favorece el rendimiento en deportes de fuerza, potencia y velocidad (Gomez-Gallego *et al.*, 2009, y Muniesa *et al.*, 2010).

Genes o combinaciones de genes

En los apartados anteriores se han descrito las funciones fisiológicas que tienen algunos genes y los efectos sobre el rendimiento deportivo que diferentes polimorfismos pueden ejercer. En la imagen de la **figura 51**, se muestra una representación de la localización cromosómica de los genes que se han descrito anteriormente. Esta imagen nos puede conducir a pensar sobre el efecto que puede tener sobre el rendimiento deportivo la contribución individual de diferentes genes y de sus polimorfismos genéticos.

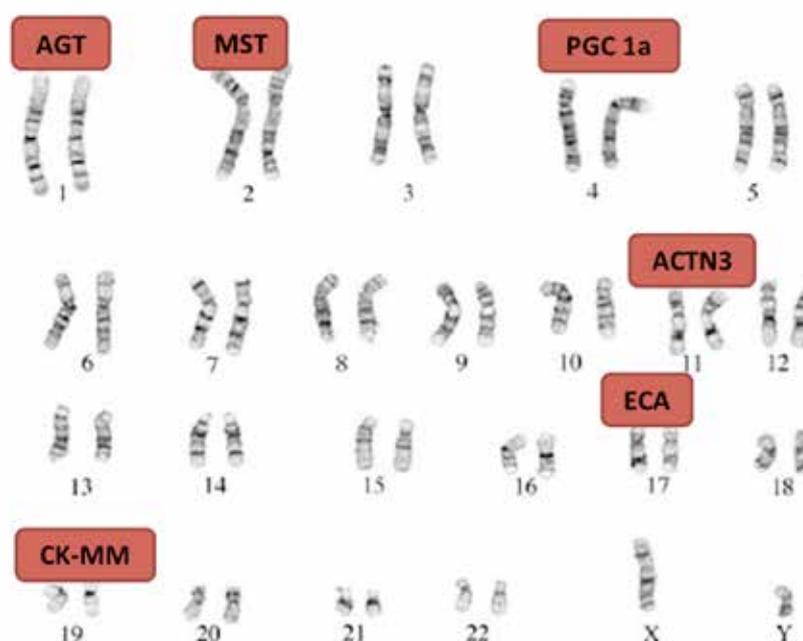


Figura 51: Localización cromosómica de los genes citados en el texto.

Así, los rasgos fenotípicos atléticos, siendo muy complejos, van a ser fundamentalmente poligénicos (dependen de numerosos genes con efectos pequeños combinados). Es muy importante tener en cuenta que cada gen puede probablemente explicar una proporción muy pequeña de la variación fenotípica, y que pueden ocurrir posibles interacciones entre los genes y el entorno. Por lo

tanto, varios autores han empezado a interesarse en diversos enfoques combinatorios, es decir, en el posible impacto combinado de los polimorfismos relacionados con la capacidad física.

Williams y Folland realizaron en el año 2008 un enfoque poligénico del rendimiento deportivo: en su estudio trataron de predecir la probabilidad de que existiesen sujetos con un perfil genético óptimo para la resistencia. Dicho perfil se basaba en la combinación teórica de 23 polimorfismos genéticos asociados a características fenotípicas de resistencia según distintos estudios. A la combinación alélica, teóricamente óptima, de un gen se le aplicó una puntuación genotípica (PG) de dos, a la combinación intermedia se le aplicó una puntuación de uno, y a la teóricamente peor un cero. Los autores combinaron todas las puntuaciones individuales en una puntuación general –puntuación genotípica total (PGT) o *total genotype score* (TGS)– con un valor máximo posible de 100 correspondiente con el perfil genético óptimo para la resistencia. Por ejemplo, para el cálculo de PGT se transforma la escala a un mínimo de 0 y un máximo de 100 de la siguiente forma:

$$PGT = (100/8) \times (PG \text{ ECA} + PG \text{ ACTN3} + PG \text{ MST} + PG \text{ PPARC1A})$$

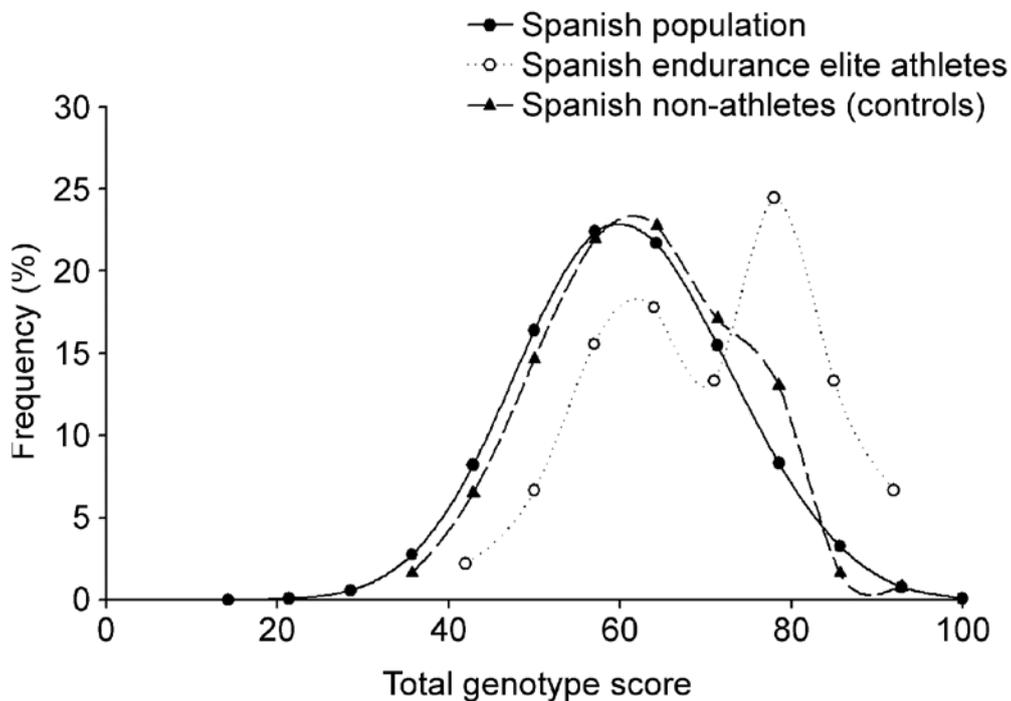


Figura 52: La distribución de la puntuación genotípica total del grupo de atletas de resistencia aparece desplazada hacia la derecha con dos picos, uno cercano a la puntuación de 80, lo cual puede sugerir la existencia de una dotación poligénica “global” más favorable en los atletas (Ruiz et al., 2009).

Donde 8 es el resultado de multiplicar 4 (número total de polimorfismos genéticos estudiados) por 2 (puntuación máxima posible con el genotipo apropiado para resistencia).

Siguiendo este modelo, se han realizado sendos análisis para estudiar la combinación de los genotipos de los siguientes siete genes: ECA II, ACTN3 XX, AMPD1 QQ, CKMM 985+185/985+185, HFE HD/HH, MSTN KK y PGC1 α GG, y el estatus de ser un atleta de resistencia de clase mundial (Ruiz *et al.*, 2009); o la combinación de los genotipos de los siguientes seis genes: ECA DD, ACTN3 RR, AGT CC, MSTN KK, IL6 GG y NOS3 TT, y el estatus de ser un atleta de élite en deportes de potencia (Ruiz *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras:

Por un lado, los resultados obtenidos indican que, con respecto a la población española, la distribución de la puntuación genotípica total del grupo de atletas de resistencia aparece desplazada hacia la derecha con dos picos, uno cercano a la puntuación de 80, lo cual puede sugerir la existencia de una dotación poligénica “global” más favorable en los atletas (**figura 52**) (Ruiz *et al.*, 2009).

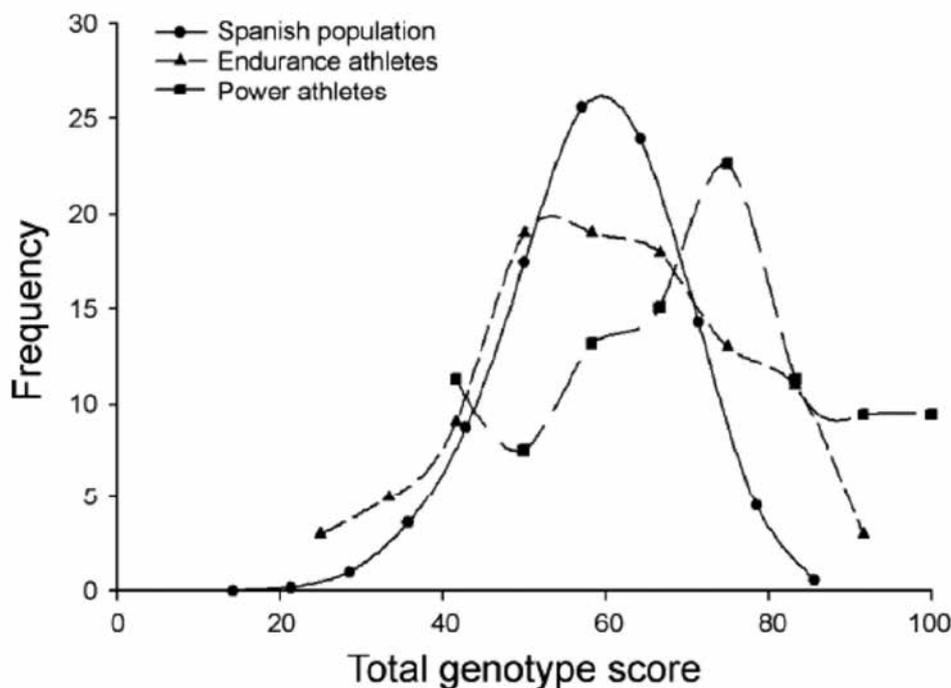


Figura 53: En el caso de la asociación de un determinado perfil poligénico con el rendimiento de potencia, los resultados indican igualmente que la distribución de la puntuación genotípica total del grupo de atletas de potencia aparece desplazada hacia la derecha, lo cual también parece indicar la existencia de una dotación poligénica “global” más favorable en los atletas (Ruiz *et al.*, 2010).

Por otro lado, en el caso de la asociación de un determinado perfil poligénico con el rendimiento de potencia, los resultados indican igualmente que la distribución de la puntuación genotípica total del grupo de atletas de potencia aparece desplazada hacia la derecha, lo cual también parece indicar la existencia de una dotación poligénica “global” más favorable en los atletas (**figura 53**) (Ruiz *et al.*, 2010).

Conclusiones

A modo de resumen, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

El rendimiento deportivo se puede entender como un fenotipo muy complejo en el cual concurren una serie de factores genéticos, a los que se suman otros ambientales.

A fecha de hoy se han identificado aproximadamente 200 genes candidatos relacionados con el rendimiento deportivo, fundamentalmente en los siguientes aspectos: transporte de oxígeno, flujo sanguíneo, recambio de lactato, producción de energía o estructura muscular.

Cada uno de los genes presentes puede contribuir con una aportación pequeña al resultante del fenotipo; por ello, surge la necesidad de estudiar la interacción entre genes en la definición del perfil poligénico.

Al margen de los resultados presentados en esta revisión, es interesante comentar que es preciso realizar estudios adicionales que ayuden a generar un mayor conocimiento sobre el rendimiento deportivo y su vertiente genética.

Bibliografía

- AHMETOV, I. I.; GAVRILOV, D. N.; ASTRATENKOVA, I. V.; DRUZHEVSKAYA, A. M.; MALININ, A. V.; ROMANOVA, E. E., *et al.*, "The association of ACE, ACTN3 and PPAR α gene variants with strength phenotypes in middle school-age children". *Journal of Physiological Sciences*, 16 de septiembre de 2012.
- CLARK, K. A., BLAND, J. M. y BECKERLE, M. C., "The drosophila muscle LIM protein, Mlp84B, cooperates with D-titin to maintain muscle structural integrity". *Journal of Cell Science*, n.º 120, (Pt 12), 15 de junio de 2007, pp. 2066-2077.
- GÓMEZ-GALLEGO, F.; SANTIAGO, C.; GONZÁLEZ-FREIRE, M.; YVERT, T.; MUNIESA, C. A.; SERRATOSA, L., *et al.*, "The C allele of the AGT Met235Thr polymorphism is associated with power sports performance". *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, n.º 34 (6), diciembre de 2009, pp. 1108-1111.
- LUCÍA, A.; GÓMEZ-GALLEGO, F.; BARROSO, I.; RABADÁN, M.; BANDRÉS, F.; SAN JUAN, A. F.; CHICHARRO, J. L.; EKELUND, U.; BRAGE, S.; EARNEST, C. P.; WAREHAM, N. J., y FRANKS, P. W., "PPARGC1A genotype (Gly482Ser) predicts exceptional endurance capacity in European men". *Journal of Applied Physiology*, n.º 99 (1), julio de 2005, pp. 344-348.
- MUNIESA, C. A.; GONZÁLEZ-FREIRE, M.; SANTIAGO, C.; LAO, J. I.; BUXENS, A.; RUBIO, J. C., *et al.*, "World-class performance in lightweight rowing: is it genetically influenced? A comparison with cyclists, runners and non-athletes". *British Journal of Sports Medicine*, n.º 44 (12), septiembre de 2010, pp. 898-901.
- RIVERA, M. A.; DIONNE, F. T.; SIMONEAU, J. A.; PÉRUSSE, L.; CHAGNON, M.; CHAGNON, Y.; GAGNON, J.; LEON, A. S.; RAO, D. C.; SKINNER, J. S.; WILMORE, J. H., y BOUCHARD, C., "Muscle-specific creatine kinase gene polymorphism and VO $_2$ max in the *Heritage family study*". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, n.º 29 (10), octubre de 1997, pp. 1311-1317.
- RUIZ, J. R.; GÓMEZ-GALLEGO, F.; SANTIAGO, C.; GONZÁLEZ-FREIRE, M.; VERDE, Z.; FOSTER, C., y LUCÍA, A., "Is there an optimum endurance polygenic profile?" *Journal of Physiology*, n.º 587 (Pt 7), 1 de abril de 2009, pp. 1527-34.
- RUIZ, J. R.; ARTETA, D.; BUXENS, A.; ARTIEDA, M.; GÓMEZ-GALLEGO, F.; SANTIAGO, C.; YVERT, T.; MORÁN, M., y LUCÍA, A., "Can we identify a power-oriented polygenic profile?" *Journal of Applied Physiology*, n.º 108 (3), marzo de 2010, pp. 561-566.
- SANTIAGO, C.; RUIZ, J. R.; RODRÍGUEZ-ROMO, G.; FIUZA-LUCES, C.; YVERT, T.; GONZÁLEZ-FREIRE, M., *et al.*, "The K153R polymorphism in the myostatin gene and muscle power phenotypes in young, non-athletic men". *PLOS One*, n.º 6 (1), 20 de enero de 2011.

- SCHUELKE, M.; WAGNER, K. R.; STOLZ, L. E.; HÜBNER, C.; RIEBEL, T.; KÖMEN, W.; BRAUN, T.; TOBIN, J. F., y LEE, S. J., "Myostatin mutation associated with gross muscle hypertrophy in a child". *New England Journal of Medicine*, n.º 350 (26), 24 de junio de 2004, pp. 2682-2688.
- WILLIAMS, A. G.; RAYSON, M. P.; JUBB, M.; WORLD, M.; WOODS, D. R.; HAYWARD, M., *et al.*, "The ACE gene and muscle performance". *Nature*, n.º 403 (6770), 10 de febrero de 2000, p. 614.
- WILLIAMS, A. G. y FOLLAND, J. P., "Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance". *Journal of Physiology*, n.º 586 (1), 1 de enero de 2008, pp. 113-121.
- YANG, N.; MACARTHUR, D. G.; GULBIN, J. P.; HAHN, A. G.; BEGGS, A. H.; EASTEAL, S., y NORTH, K., "ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance". *American Journal of Human Genetics*, n.º 73 (3), septiembre de 2003, pp. 627-631.

**COMUNICACIONES
EN FORMATO DE PÓSTER**

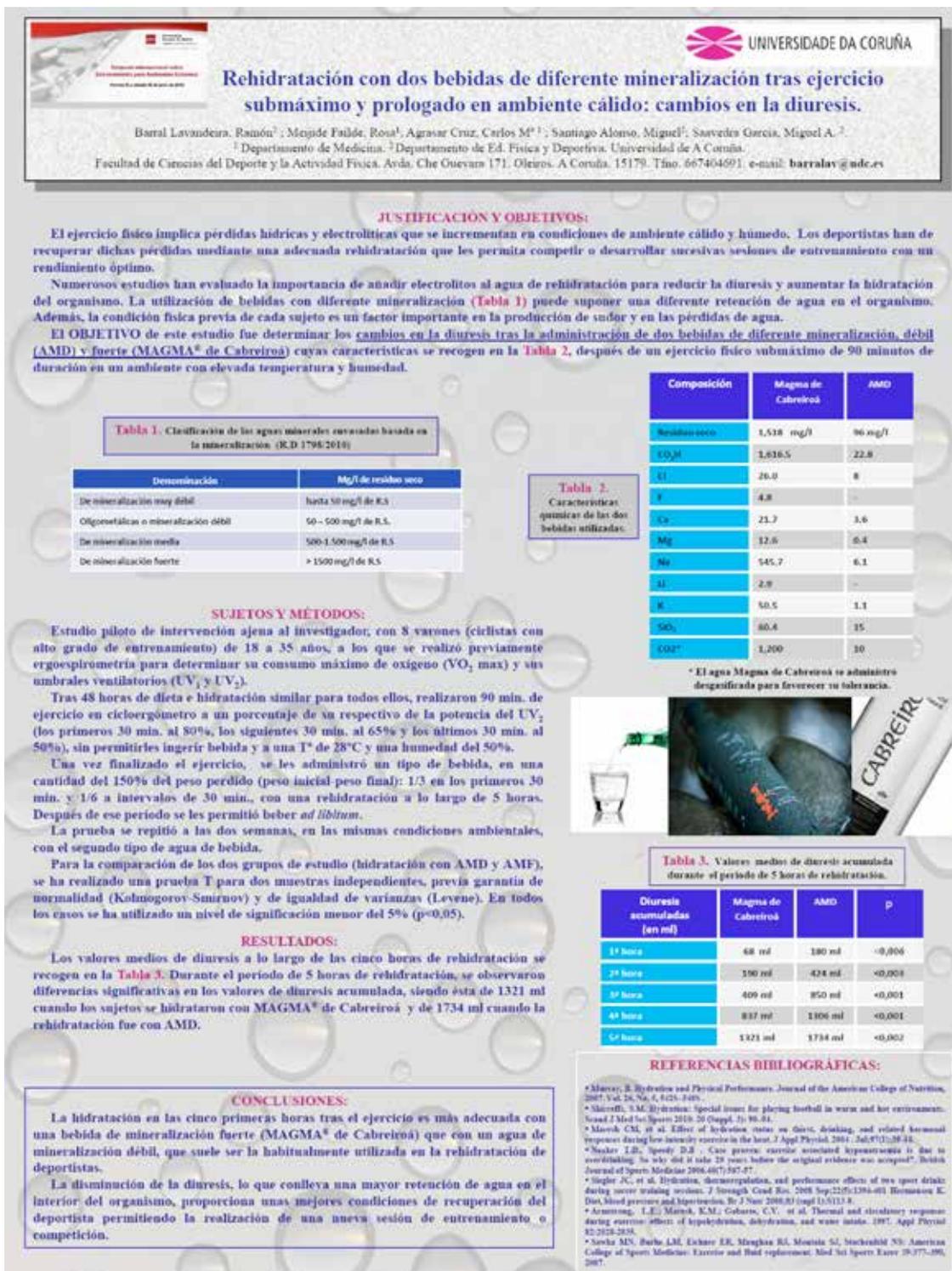


Figura 54: Póster n.º1. Rehidratación con dos bebidas de diferente mineralización tras ejercicio submáximo y prolongado en ambiente cálido: cambios en la diuresis. Barral Lavandeira, Ramón; Meijide Faílde, Rosa; Agrasar Cruz, Carlos M.^a; Santiago Alonso, Miguel, y Saavedra García, Miguel A.

REHIDRATACIÓN CON DOS BEBIDAS DE DIFERENTE MINERALIZACIÓN TRAS EJERCICIO SUBMÁXIMO Y PROLONGADO EN AMBIENTE CÁLIDO: CAMBIOS EN LA DIURESIS (figura 54)

Barral Lavandeira, Ramón²; Meijide Failde, Rosa¹; Agrasar Cruz, Carlos M.^{a 1};
Santiago Alonso, Miguel²; Saavedra García, Miguel A.²

¹Departamento de Medicina. ² Departamento de Ed. Física y Deportiva de la Universidad de A Coruña.
Facultad de Ciencias del Deporte y la Actividad Física. Avda. Che Guevara, 171.
15179 - Oleiros, A Coruña. Tfno.: 667404691, e-mail: barralav@udc.es.

Introducción

La recuperación de la capacidad de trabajo físico es uno de los grandes desafíos para la población deportiva sometida a más de una sesión de entrenamiento diaria o deportes en los que se compite en varias series en un día o días sucesivos. Dicha recuperación pasa por reponer combustibles y electrolitos y por realizar una rehidratación durante y después de la sesión de entrenamiento para tener un rendimiento óptimo en cada una de las sesiones (Maughan, Leiper y Shirreffs, 1997).

Los objetivos para lograr una óptima rehidratación nutricional son específicos para cada deportista, para cada especialidad y para cada sesión de entrenamiento y vendrán determinados por algunos de los siguientes factores: Los cambios fisiológicos y homeostáticos causados por el ejercicio, los objetivos relacionados con el aumento del rendimiento o una mejor adaptación a la sesión de ejercicio, la duración del período de entrenamiento y las condiciones climáticas y ambientales y la disponibilidad de nutrientes para digerir durante el periodo de recuperación.

La temperatura ambiente es un factor condicionante en el rendimiento deportivo. Es conocido que el ejercicio físico intenso, cuando es realizado en un ambiente cálido y húmedo, representa un desafío para los mecanismos homeostáticos del organismo. En el ejercicio de resistencia, la elevada producción de calor, junto con una disminuida capacidad para la disipación del mismo, pueden provocar una disminución en el rendimiento y esta situación puede progresar hacia el golpe de calor y, en casos extremos, hacia la muerte (Sawka y Coyle, 1999).

Un estudio demostró que un ejercicio que podía mantenerse a 11 °C durante 92 minutos se reducía a 83 minutos si la temperatura se incrementaba a 21 °C y solamente a 51 minutos si la temperatura subía hasta los 30 °C (Galloway, Shirreffs, Leiper y Maughan, 1997). Por este motivo, el American College of Sports Medicine recomienda que los deportistas replacen las pérdidas de fluidos durante el

ejercicio para mejorar el rendimiento y prevenir la hipohidratación y la aparición de enfermedad por calor (Convertino, Armstrong y Coyle, 1996).

El estado de deshidratación se asocia con una disminución en el rendimiento durante el ejercicio de resistencia. Niveles de deshidratación equivalentes al 1% del peso corporal son suficientes para afectar a las respuestas termorreguladoras al ejercicio y pérdidas entre el 2-3% afectan negativamente al rendimiento deportivo (Sawka y Pandolf, 1990).

En el mantenimiento y regulación del balance hídrico, en condiciones normales, intervienen el mecanismo de la sed y algunas hormonas como ADH y aldosterona. Una osmolalidad incrementada hace que salga agua de los osmorreceptores hacia la sangre, deshidratándolos, lo que estimula el mecanismo de la sed y la liberación de ADH, que retiene agua en el túbulo renal y disminuye las pérdidas por orina. Por otra parte, la deshidratación extracelular (hipovolemia) estimula a barorreceptores específicos en el riñón que a su vez estimulan el sistema renina-angiotensina-aldosterona, reduciendo la pérdida de sodio y agua por el riñón (Thornton, 2010). Pero la sed, en determinadas condiciones de estrés y ejercicio en ambientes cálidos, fríos o en altitud, puede no ser un estímulo suficiente para mantener la hidratación, por lo que podría retardarse hasta 24 horas la total reposición de los niveles hídricos del organismo (Greenleaf, 1992).

La información y conocimientos acerca de la adecuada hidratación que deberían realizar los deportistas no siempre es la adecuada. En un estudio realizado con los participantes en la carrera de maratón de Londres, un 95,8% tenía clara una estrategia de hidratación, pero un 12% de ellos tenía pensado ingerir un volumen excesivo de líquido que los podría poner en riesgo de sufrir una hiponatremia asociada al ejercicio (Williams *et al.*, 2012). Un estudio realizado en partidos de baloncesto de la NBA puso de manifiesto que el 50% de los jugadores comenzaban los partidos en un estado de hipohidratación y que la ingesta de líquidos no llegaba a compensar ese estado previo ni las pérdidas que tenían lugar a lo largo del partido, por lo que las estrategias de hidratación deberían ser mejoradas (Osterberg, Horswill y Baker, 2009).

La adecuada rehidratación tras un ejercicio físico intenso en ambientes climáticos adversos es difícil de conseguir en muchas ocasiones. ¿Qué debe beber el deportista y en qué cantidad? Algunos estudios han confirmado que beber agua solamente no es la mejor pauta para reemplazar el agua perdida por el sudor, sino que es necesario reponer electrolitos (Gonzales-Alonso, Heap y Coyle, 1992; Nielsen *et al.*, 1986). Un estudio de Maughan y Leiper en 1995 examinó el efecto de bebidas con diferente contenido en sodio sobre el proceso de rehidratación en sujetos que habían perdido un 1,9% del peso corporal tras el ejercicio: comprobaron que el volumen de orina producido estaba influenciado por la cantidad de sodio consumido, siendo mucho mayor el volumen de orina

con las bebidas de escaso contenido en ese electrolito. En otro estudio se postuló que la inclusión de ion potasio en la bebida consumida podía ayudar a la rehidratación mejorando la retención de agua en el espacio intracelular (Nadel, Mack y Nose, 1990). Los estudios de hidratación sugieren que para reemplazar las pérdidas de sudor, las bebidas deberían contener elevados niveles de sodio (quizás 50-60 mmol/l) y posiblemente también algo de potasio.

Para conseguir una adecuada rehidratación, la cantidad de bebida que el sujeto ha de ingerir tras el ejercicio tiene que ser mayor que la cantidad perdida. Si el volumen de bebida ingerido es equivalente a la pérdida por sudor, el sujeto se encuentra hipohidratado. Durante la fase de recuperación persiste la sudoración y además hay pérdidas obligadas de orina, por lo que los sujetos deben reponer una mayor cantidad de líquido que el déficit producido durante el ejercicio, debiendo consumirse volúmenes de, al menos, el 150% del déficit para compensar las pérdidas y garantizar que se restituya el balance hídrico dentro de las seis horas siguientes de recuperación. Un volumen ingerido que represente un 150-200% de la cantidad perdida por sudor permite una rehidratación correcta, aunque la cantidad de sodio en la bebida es un factor importante (Shirreffs, Taylor, Leiper y Maughan, 1996). La rehidratación ideal debería tener una concentración similar a la del sudor pero dada la enorme variabilidad individual en la composición del sudor, una única formulación no es posible. Además, el volumen y composición del sudor varía en función de la diferente composición del líquido utilizado para la rehidratación (Morgan, Patterson y Nimmo, 2004).

La abundante oferta en el mercado de bebidas que utilizan los deportistas –y los ciclistas en particular– para su rehidratación en sesiones de entrenamiento y competición, así como la aparición de nuevas bebidas y marcas comerciales, justifican abordar nuevos estudios que analicen las ventajas de dichas bebidas en los procesos de rehidratación. Sin embargo, existen escasos datos publicados en relación con la ingesta, en el ámbito deportivo, de bebidas de mineralización fuerte, lo que justifica el desarrollo de este estudio.

Las aguas minerales naturales se definen como “aquellas bacteriológicamente sanas que tengan su origen en un estrato o yacimiento subterráneo y que broten de un manantial en uno o varios puntos de alumbramiento, naturales o perforados” (R. D. 1798/2010). Estas aguas se distinguen del agua potable ordinaria por su naturaleza, caracterizada por su contenido en minerales, oligoelementos y otros componentes y, en ocasiones, por determinados efectos y por su pureza original. El contenido en minerales de estas aguas presenta una gran variabilidad y poseen muchas de ellas cantidades importantes de sodio; algunas de ellas contienen cantidades elevadas de bicarbonato como anión asociado al catión sodio. Además, las aguas minerales naturales contienen cantidades variables de otros elementos como calcio, magnesio y potasio, factores todos ellos relacionados con la hidratación (tabla 1: **figura 55**).

Denominación	Mg/l de residuo seco
De mineralización muy débil	hasta 50 mg/l de R. S.
Oligometálicas o mineralización débil	50-500 mg/l de R. S.
De mineralización media	500-1.500 mg/l de R. S.
De mineralización fuerte	>1500 mg/l de R. S.

Figura 55: Tabla 1. Clasificación de las aguas minerales envasadas en función del grado de mineralización (R. D. 1798/2010).

Existen estudios que sugieren que la hidratación con aguas minerales bicarbonatadas sódicas de elevada mineralización reducen la diuresis y aumentan la hidratación del organismo tras el ejercicio anaeróbico, disminuyendo el tiempo de fatiga (Heil *et al.*, 2009).

En España, a diferencia del resto de Europa, existen pocas aguas minerales comercializadas con estas características. Una de ellas es el agua mineral Magma® de Cabreiroá (España): es un agua bicarbonatada alcalina caracterizada por un relativamente alto contenido de bicarbonato, sodio, anhídrido carbónico y silicio, además de iones de calcio, magnesio, litio y fluoruro.

El objetivo de este estudio fue determinar los cambios en la diuresis tras la administración de dos bebidas de diferente mineralización, débil (AMD) y fuerte (AMF, Magma® de Cabreiroá), después de un ejercicio físico submáximo de 90 minutos de duración en un ambiente con elevada temperatura y humedad. En la tabla 2 (**figura 56**) se recogen las características químicas de las dos bebidas utilizadas en el estudio.

	Magma de Cabreiroá	Agua de mineralización débil
Residuo seco mg/l	1,518	96
CO ₃ H	1.616,5	22,8
Cl	26,0	8
F	4,8	-
Ca	21,7	3,6
Mg	12,6	0,4
Na	545,7	6,1
Li	2,9	-
K	50,5	1,1
SiO ₂	60,4	15
CO ₂	1.200	10

Figura 56: Tabla 2. Características químicas de las dos bebidas utilizadas.

Metodología

El estudio realizado, un estudio piloto de intervención ajena al investigador, se llevó a cabo en un grupo de ocho deportistas (ciclistas) pertenecientes al Club Ciclista Padronés, todos ellos varones, sanos, de edades comprendidas entre los 18 y 35 años y con más de tres años de práctica deportiva continuada, encontrándose todos ellos en fase de trabajo al final del período preparatorio e inicio del período competitivo. El estudio se realizó en el Laboratorio de Valoración Funcional de la Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física de la Universidad de A Coruña, situado en el campus de Bastiagueiro (Oleiros), en los meses de enero y febrero de 2012.

Todos los sujetos fueron informados de las características del estudio y de sus posibles riesgos y, tras firmar su consentimiento, se llevó a cabo un estudio consistente en una anamnesis, una exploración por aparatos y sistemas, una evaluación antropométrica y una evaluación cardiológica en reposo. Las características físicas de los sujetos, cuyos datos están expresados como media \pm desviación típica, se muestran en la tabla 3 (**figura 57**).

Variable	Media \pm DT	%	(n=8)
Edad (años)	24,00 \pm 6,74		8
Talla (cm)	178,2 \pm 4,12		8
Peso (kg)	67,76 \pm 9,38		8
IMC (kg/m ²)	21,28 \pm 2,41		8
Masa grasa (kg)	7,74 \pm 2,43		8
Porcentaje de masa grasa		11,09 \pm 1,78	8
Masa muscular (kg)	31,98 \pm 5,05		8
Porcentaje de masa muscular		47,00 \pm 1,17	8
Masa ósea (kg)	11,98 \pm 1,08		8
Porcentaje de masa ósea		17,80 \pm 1,86	8
Masa residual (kg)	16,40 \pm 2,58		8
Porcentaje de masa residual		24,10 \pm 0,00	8
Sumatorio de seis pliegues (mm)	50,65 \pm 17,80		8
Endomorfia	2,31 \pm 0,77		8
Mesomorfia	3,93 \pm 1,03		8
Ectomorfia	3,93 \pm 1,03		8

Figura 57: Tabla 3. Caracterización de la muestra.

Los datos de composición corporal fueron obtenidos mediante el fraccionamiento en cuatro componentes según el método de De Rose y Guimaraes. Una vez descartada la presencia de cualquier patología que aconsejase su

no inclusión en el estudio, a cada uno de los participantes se le realizó una evaluación ergoespirométrica y cardiológica durante una prueba de esfuerzo maximal que consistió en un test incremental progresivo en rampa (incremento de 1 W cada dos segundos) realizado en cicloergómetro (Cardgirus SNT pro) y con análisis de gases espirados (Medical Graphics CPX-Plus, de la Medical Graphics Corporation, St. Paul, Minnesota, EE. UU.), *software* Breeze 6.4 y análisis cardiológico (Welch Allyn Cardioperfect).

Una vez realizados los test maximales, se determinaron los valores de potencia mecánica absoluta y relativa, la frecuencia cardíaca y el valor de consumo máximo de oxígeno y el umbral anaeróbico ventilatorio (UAV) de cada uno de los participantes, así como los porcentajes de dichos valores que correspondían al UAV. Se determinaron asimismo los valores de potencia mecánica que correspondían al 95%, 80%, 65% y 50% del valor de la potencia en umbral para cada uno de los sujetos, potencias a las que iban a pedalear durante la fase de esfuerzo de cada una de las pruebas de deshidratación y rehidratación.

Previamente a la realización del estudio, a todos los participantes se les dieron pautas nutricionales, solicitándoles que durante los dos días previos a la prueba realizasen su dieta habitual e incrementaran el último día ligeramente la ingesta de hidratos de carbono como habitualmente realizan cuando tienen una carrera, y se les recomendó que no ingiriesen una cantidad de sal elevada. Dichas pautas nutricionales deberían ser repetidas, en la medida de lo posible, en los dos días previos al segundo estudio, tratando de homogeneizar el aporte glucídico y la ingesta de sal.

Los sujetos fueron sometidos a dos pruebas de deshidratación-rehidratación que se llevaron a cabo en dos fechas diferentes, con un intervalo de 15 días entre ellas, y en cada una se utilizó para rehidratar un tipo de bebida diferente: agua de mineralización fuerte (AMF) o agua de mineralización débil (AMD). La primera prueba, con un tipo de agua, se realizó una semana después de la realización del test maximal y 15 días después de la primera, se realizó la segunda prueba con el otro tipo de bebida.

Los días en los que se llevaron a cabo dichas pruebas, los sujetos realizaron un desayuno en su domicilio, desplazándose a la Facultad de Ciencias de Deporte y de la Educación Física de la UDC y, una vez en el Laboratorio de Valoración Funcional, cada ciclista preparó su cicloergómetro adecuándolo a sus características antropométricas y colocando sus propios pedales.

Una vez preparado el cicloergómetro, y antes del inicio de la fase de esfuerzo, se procedió al vaciamiento de la vejiga y se realizó una determinación del peso.

Cuando los sujetos se encontraban preparados, realizaban una adecuación al cicloergómetro con un período de calentamiento de tres minutos, con una carga

de 50 W y, después de un breve reposo, se inició el estudio incrementando la carga un 20% cada minuto hasta alcanzar el 95% de la potencia determinada para el UAV individual, reduciendo la misma al 80% durante los primeros 30 minutos, al 65% los siguientes 30 minutos y al 50% los últimos 30 minutos, siendo necesario completar los 90 minutos de duración de la prueba a dichas intensidades para dar por válida la fase de esfuerzo.

Durante el ejercicio, los sujetos dispusieron en el frontal de su ciclo una mesa auxiliar donde se colocó un ventilador (Meteor EC®, de Soler&Palau, Barcelona) que generaba una corriente de aire hacia su cuerpo de 1,5 m/s, medida con anemómetro (TROTEC BA15®, de Trotec GmbH&Co. KG, Heinsberg). La temperatura y humedad de la sala se mantuvieron en valores muy similares (t de 29°C y humedad de 75%) todos los días que se llevaron a cabo los estudios, controlándose estos parámetros mediante un termohigrómetro (termohigrómetro LUFFT C200®, Fellbach, Alemania), un humidificador (humidificador ultrasónico JANÉ 50112®, Barcelona), pulverización manual de agua y el sistema de calefacción en funcionamiento durante la fase de esfuerzo.

Tras la finalización del período de esfuerzo, los sujetos se secaban, cambiando su culote por un *slip* y, una vez pesados y comprobada la pérdida de peso, se procedió a calcular la cantidad de agua a ingerir, multiplicando la pérdida de peso por 1,5 veces, es decir, un 150% de la masa perdida durante el esfuerzo. La fase de reposición hídrica se llevó a cabo, cada uno de los días, con una bebida de diferente mineralización (AMD o AMF). La velocidad de rehidratación se fijó en porcentajes similares para todos los individuos de tal forma que el 50% del volumen total de agua que debían beber lo tenían que ingerir en los primeros 30 minutos tras el ejercicio, continuando cada 30 minutos con un 25% más hasta completar en 150 min la reposición calculada.

El día previo a cada estudio se preparaban, numeradas para cada sujeto, cinco botellas con un litro del agua que les correspondía beber, con el objeto de facilitar la correcta y exacta distribución de la cantidad de bebida. La bebida de mineralización fuerte, al tener gas, se dejaba abierta para que perdiese este y facilitar de este modo su ingesta. Las bebidas se mantuvieron refrigeradas en un enfriador de bebidas (Infrico ERV 53, de Infrico S. L., Lucena, Córdoba, España) a una temperatura de 10°C.

Para determinar la cantidad exacta de la ingesta hídrica de cada sujeto se utilizó una probeta (SIMAX-KAVALIÉR de 500 ml, de Kavalierglass A. S., Praga, República Checa) graduada cada 5 ml. En cada una de las ingestas se verificaba con la probeta la cantidad a añadir o retirar de la botella ya preparada, entregándose a cada sujeto la cantidad exacta de líquido a ingerir en ese período de tiempo. Durante las cinco horas de la fase de rehidratación, los sujetos permanecían en la sala en reposo leyendo o visionando películas, y solamente podían beber de

las botellas que se le proporcionaban con la cantidad exacta de bebida. La temperatura de la bebida se mantuvo siempre a 10°C.

Durante cada hora del proceso de rehidratación, los sujetos realizaban la misma rutina en el laboratorio: acudir al servicio contiguo a la sala y orinar en un recipiente de control de diuresis; a continuación, se desvestía y se determinaba su peso. Tras esta fase de reposición hídrica pautada y forzada, los sujetos se duchaban y eran acompañados a un restaurante donde ingirieron todos los días la misma comida estandarizada, con ingesta de agua ad libitum pero de la misma bebida utilizada durante la fase de reposición hídrica en el laboratorio. Para ello, a cada uno de los participantes se le hacía entrega previamente de dos botellas de agua completamente llenas (1.550 ml cada una). También se les entregaban a los sujetos dos contenedores de diuresis para recoger la orina acumulada en las seis horas posteriores en su domicilio. Los sujetos anotaban la diuresis acumulada y la cantidad de agua ingerida de las dos botellas entregadas.

Todo este procedimiento se repitió 15 días después, con el mismo grupo de sujetos, realizando el segundo estudio de deshidratación-rehidratación con el otro tipo de bebida, diferente a la que habían ingerido en el primer estudio.

Análisis estadístico

Para valorar la eficacia que dos aguas diferentes –AMD y AMF (Magma® de Cabreiró)– con baja y alta mineralización, respectivamente, tienen sobre la capacidad de rehidratación tras un esfuerzo de alta intensidad y duración prolongada en un ambiente climático caluroso, se han estudiado las siguientes variables recogidas en la tabla 4 (**figura 58**).

Variable	Descripción
Peso inicial	Peso en kg al inicio del test de esfuerzo
Peso final	Peso en kg al final del test de esfuerzo
Diferencia peso	Diferencia entre peso inicial y peso final
% de deshidratación	(Diferencia de peso/peso inicial) x 100
Ingesta H-60, ingesta H-120, ingesta H-150	Volúmenes de agua ingeridos durante la rehidratación (a 1 h, a las 2 h y las 2,5 horas)
Ingesta H-5R	Ingesta de agua acumulada a lo largo del periodo de recuperación
RH-ML/K	Rehidratación en ml/kg
Ingesta H-domicilio Ingesta total	Ingesta de agua en domicilio ad libitum Ingesta 5 h + ingesta domiciliaria
Diuresis 60, diuresis 120, diuresis 180, diuresis 240, diuresis 300, diuresis domic., diuresis total	Diuresis a 1h, 2h, 3h, 4h y 5h del periodo de rehidratación, diuresis en domicilio y diuresis total

Variable	Descripción
D-ML/K-inicial	Diuresis en ml/kg dividido por el peso inicial
D-ML/K-final	Diuresis en ml/kg dividido por el peso final
Dif H-U	Diferencia entre hidratación y diuresis en las 5 h de rehidratación forzada
Dif HT-DT	Diferencia entre hidratación y diuresis en 12 horas (5 h de rehidratación forzada +7 h de rehidratación en domicilio)

Figura 58: Tabla 4. Variables de estudio.

Las variables de rehidratación que figuran en la tabla anterior son todas ellas variables cuantitativas en escala de razón. Se han medido los pesos en kg y los volúmenes de agua ingeridos y miccionados en ml. Los datos se expresaron como media \pm desviación típica. Como variable de agrupación se ha utilizado el tipo de agua; así, esta variable presenta dos niveles: agua de mineralización fuerte Magma® de Cabreiróa (AMF) y agua de mineralización débil (AMD).

La normalidad de las variables se garantizó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov; asimismo se garantizó la igualdad de varianzas mediante la prueba de Levene, y se aplicó una prueba t para dos muestras independientes. La significación estadística fue considerada cuando $p < 0,05$.

Resultados

Peso de los sujetos

No se han encontrado diferencias significativas en el peso inicial (previo al esfuerzo) ni en el peso final de los atletas (posterior al esfuerzo). De igual manera, las diferencias entre el peso inicial y el peso final han sido muy similares en ambos grupos, no encontrándose diferencias significativas entre los dos tipos de agua analizados (tabla 5: **figura 59**). Las diferencias de peso antes y después de la realización del esfuerzo presentaron valores en torno a los dos kilogramos de pérdida.

Variable	Agua de mineralización fuerte		Agua de mineralización débil		p-valor a
	Media \pm DT	n	Media \pm DT	n	
Peso inicial	67.793,75 \pm 9.911,44	8	67.718,75 \pm 9.498,72	8	0,988
Peso final	65.593,75 \pm 9.470,76	8	65.668,75 \pm 9.120,74	8	0,987
Diferencia de peso	2.200 \pm 541,82	8	2.050 \pm 475,09	8	0,565

a: Significación de la prueba t para dos muestras independientes

Figura 59: Tabla 5. Peso.

Proceso de ingesta hídrica

Los sujetos de ambos grupos han presentado un porcentaje de deshidratación similar, siendo el valor del grupo AMD del 3,01% en tanto que los sujetos del grupo AMF tienen un porcentaje de deshidratación de 3,23%. Se han rehidratado durante 5 horas tras la finalización del ejercicio y a domicilio (ad libitum) hasta las 24 horas. Durante este período no se han encontrado diferencias significativas, como se observa en la tabla 2 (**figura 56**), ni a nivel de valores absolutos ni relativos (ml/kg). La ingesta hídrica total de los sujetos de ambos grupos también es similar ($p=0,454$).

Los valores de la ingesta hídrica se pueden observar en la tabla 6 (**figura 60**) y en el gráfico 1 (**figura 61**).

Variable	Agua de mineralización fuerte		Agua de mineralización débil		p-valor a
	Media \pm DT	n	Media \pm DT	n	
Porcentaje de deshidratación	3,23 \pm 0,45	8	3,01 \pm 0,39	8	0,327
Ingesta en la 1ª hora de recuperación	1.651,56 \pm 405,24	8	1.556,25 \pm 346,60	8	0,621
Ingesta en la 2ª hora de recuperación	1.101 \pm 270,19	8	1.037,5 \pm 231,07	8	0,621
Ingesta en la 3ª hora de recuperación	550,63 \pm 135,00	8	519 \pm 115,66	8	0,623
Ingesta total durante las 5 horas de recuperación	3.303,13 \pm 810,47	8	3.112,5 \pm 693,21	8	0,621
Rehidratación en ml/kg	48,44 \pm 6,77	8	45,76 \pm 5,67	8	0,406
Ingesta a domicilio	1.203,13 \pm 633,65	8	1.059,38 \pm 489,16	8	0,619
Ingesta total	4.506,25 \pm 1.045,12	8	4.171,88 \pm 647,31	8	0,454

a: Significación de la prueba t para dos muestras independientes

Figura 60: Tabla 6. Proceso de ingesta hídrica.

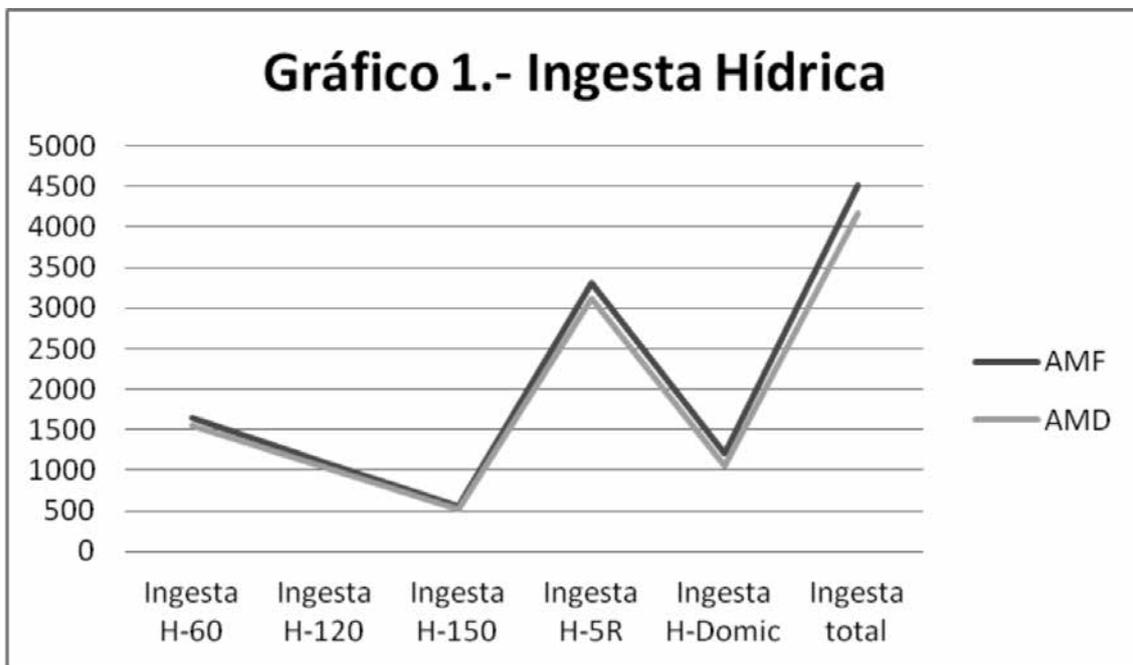


Figura 61: Gráfico 1. Ingesta hídrica.

Proceso de diuresis

Sin embargo, el proceso de recuperación muestra claras diferencias en los niveles de diuresis cuando los deportistas beben un agua de mineralización fuerte o débil (tabla 7: **figura 62**, gráfico 2: **figura 63**). Las diuresis acumuladas durante las cinco horas de recuperación indican que la rehidratación es mucho más efectiva cuando los deportistas se hidratan con un agua de mineralización fuerte.

Variable	Agua de mineralización fuerte		Agua de mineralización débil		P-valor a
	Media ± DT	n	Media ± DT	n	
Diuresis durante las dos primeras horas de recuperación	190,63 ± 83,39	8	424,39 ± 146,27	8	0,002
Diuresis durante las tres primeras horas de recuperación	409,38 ± 178,25	8	850 ± 145,77	8	0,000
Diuresis durante las cuatro primeras horas de recuperación	837,50 ± 165,92	8	1306,25 ± 109,18	8	0,000

Variable	Agua de mineralización fuerte		Agua de mineralización débil		p-valor a
	Media ± DT	n	Media ± DT	n	
Diuresis durante las cinco primeras horas de recuperación	1.321,88 ± 184,41	8	1734,38 ± 223,58	8	0,001
Diuresis a domicilio	750 ± 571,81	8	987,5 ± 519,44	8	0,399
Diuresis total	2.071,88 ± 611,41	8	2721,88 ± 680,92	8	0,064
D-ML/K-inicial	19,79 ± 3,45	8	25,96 ± 4,33	8	0,007
D-ML/K-final	20,46 ± 3,57	8	26,78 ± 4,46	8	0,007
Diferencia H-U	1.981,25 ± 760,26	8	1378,13 ± 617,95	8	0,104
Diferencia HT-DT	2.434,38 ± 752,96	8	1450 ± 643,51	8	0,014
Diuresis en la primera hora de recuperación	68,75 ± 47,72	8	180,63 ± 82,22	8	0,005
Diuresis en la segunda hora de recuperación	121,88 ± 82,84	8	243,75 ± 194,80	8	0,126
Diuresis en la tercera hora de recuperación	218,75 ± 139,35	8	425,63 ± 70,73	8	0,002
Diuresis en la cuarta hora de recuperación	428,13 ± 150,00	8	456,25 ± 117,07	8	0,682
Diuresis en la quinta hora de recuperación	484,38 ± 163,17	8	428,13 ± 161,71	8	0,500

a: Significación de la prueba t para dos muestras independientes

Figura 62: Tabla 7. Proceso de diuresis.

Así, tras la primera hora de recuperación, la diuresis es de 68,75 ml cuando rehidratan con agua de mineralización fuerte y de 180,63 ml cuando el agua es de mineralización débil, siendo su diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,006$). Al completarse dos horas de recuperación, la diferencia es significativa ($p < 0,003$) y los valores de diuresis son de 190,63 ml mediante rehidratación con agua de mineralización fuerte y de 424,38 ml con agua de mineralización débil. Al final de la tercera hora de recuperación, las diferencias continúan presentando significación ($p < 0,001$), con valores de 409,38 ml con el agua de mineralización fuerte y 850 ml con agua de mineralización débil. Tras la cuarta hora de recuperación, la diuresis acumulada es de 837,50 ml cuando el agua es de mineralización fuerte y de 1306,25 ml cuando la mineralización es débil ($p < 0,001$). Por último, al final de la quinta hora, las dos aguas presentan diferencias significativas ($p < 0,002$) y el valor de diuresis con mineralización fuerte es de 1321,88 ml en tanto que con mineralización débil es de 1734,38 ml.

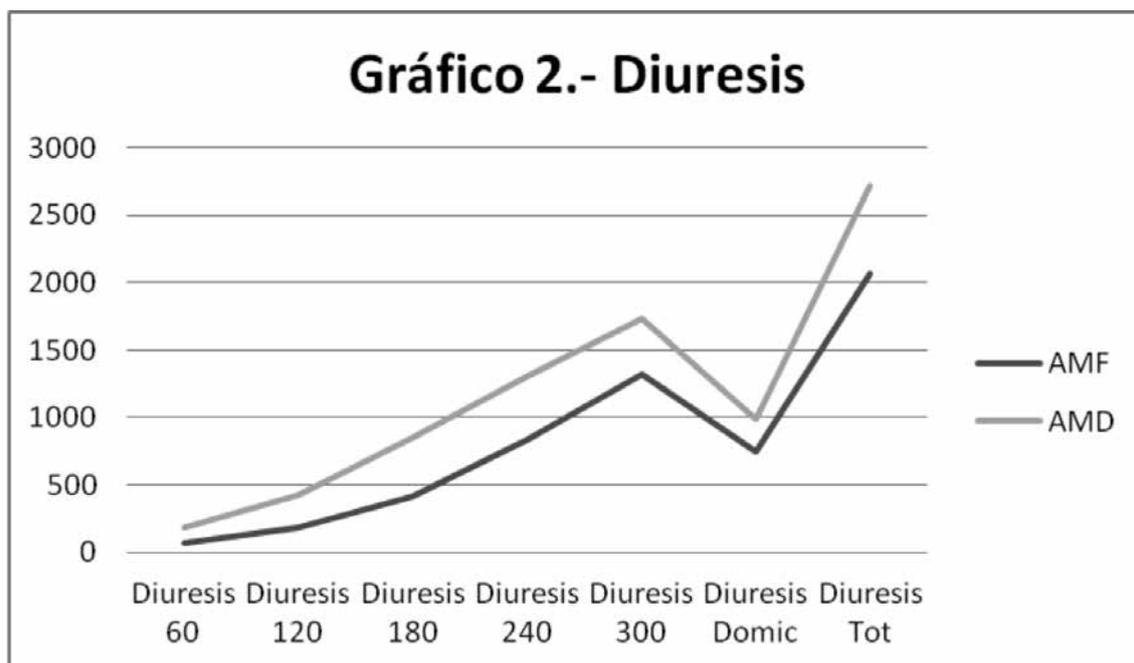


Figura 63: Gráfico 2. Diuresis.

La ingesta hídrica y la diuresis tras las cinco horas de recuperación controlada en laboratorio no presentan diferencias significativas, lo que hace que se igualen los valores de diuresis total, en la que la ingesta domiciliaria, realizada ad libitum, enmascara las diferencias encontradas durante las cinco primeras horas de recuperación.

También se han encontrado diferencias significativas en la diuresis en ml/kg tanto inicial como final ($p < 0,007$ en ambos casos). El valor inicial con aguas de mineralización débil es de $25,96 \pm 4,33$ y con agua de mineralización fuerte el valor de la diuresis en ml/kg es de $19,79 \pm 3,45$. En los valores de diuresis en ml/kg finales se observa un comportamiento similar, siendo $26,78 \pm 4,46$ el valor con agua de mineralización débil y $20,46 \pm 3,57$ cuando el agua es de mineralización fuerte.

Analizando la diuresis en cada hora del proceso de recuperación, se observa una tendencia a encontrar mayores valores con el agua de mineralización débil (AMD) durante las cuatro primeras horas (si bien solo es significativa en la tercera hora), para igualarse en la quinta hora de recuperación (gráficos 3 y 4: **figuras 64 y 65**).

Discusión

Los sujetos durante el periodo de esfuerzo han sufrido una deshidratación en torno al 3% de su masa corporal (en torno a dos kilogramos de peso), similar

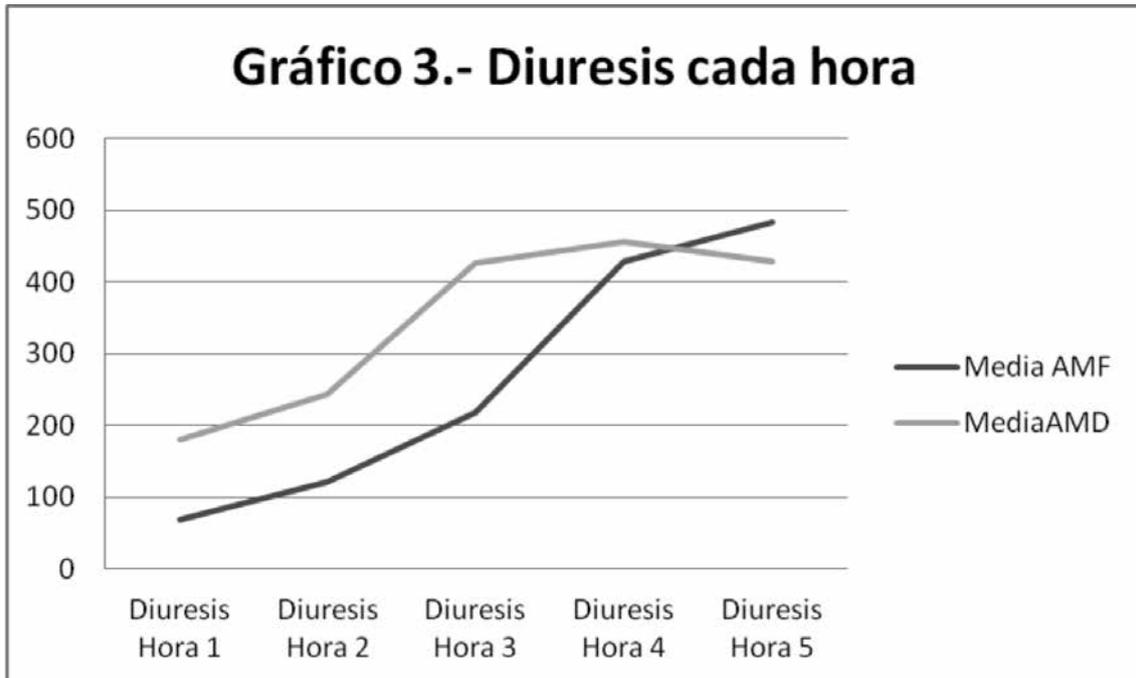


Figura 64: Gráfico 3. Diuresis cada hora.

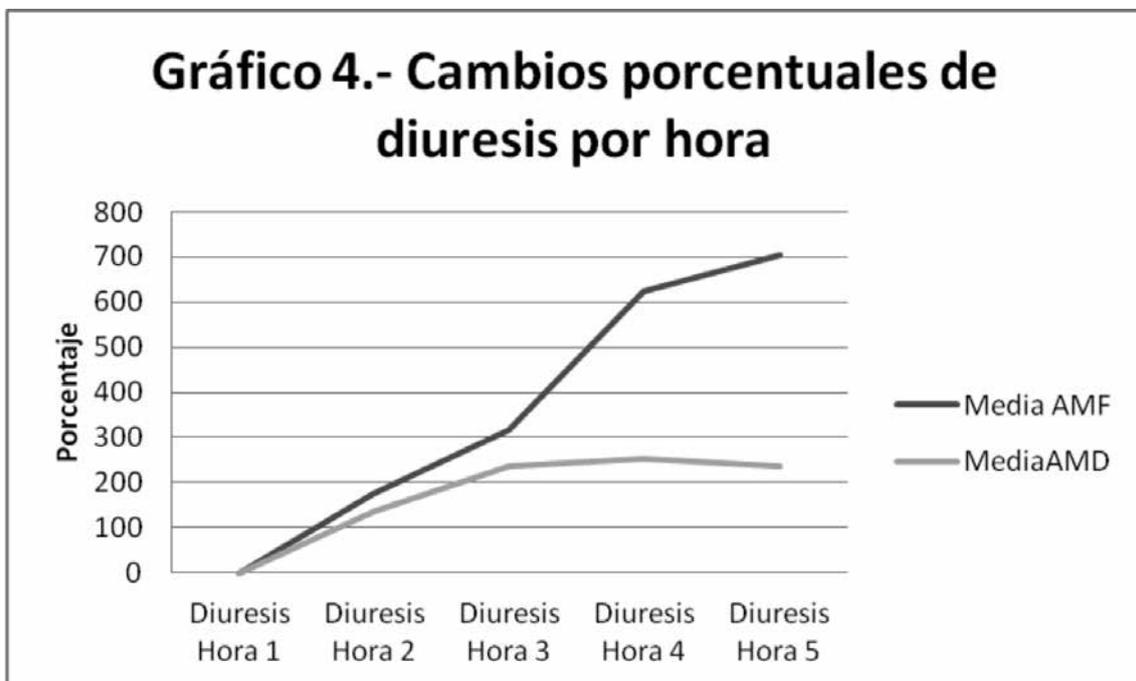


Figura 65: Gráfico 4. Cambios porcentuales de diuresis por hora.

en los grupos AMF y AMD. Sin embargo, la diuresis ha sido muy diferente en ambos grupos, presentando valores significativamente más elevados en el grupo de AMD.

El estado de deshidratación está asociado con una disminución en el rendimiento durante el ejercicio de resistencia. Un metaanálisis de 14 trabajos demostró que dicha disminución comienza cuando se produce al menos un 2% de pérdida de la masa corporal, especialmente en ambientes cálidos y húmedos (Goulet, Mélançon y Madjar, 2008; Sawka y Pandolf, 1990). Estos datos son similares a los obtenidos en nuestro trabajo, en el que el porcentaje encontrado (3%) sería explicable por la deshidratación forzada durante la realización del esfuerzo.

La temperatura ambiente es un factor condicionante en el rendimiento deportivo. Galloway *et al.* demostraron en 1997 que un ejercicio que podía mantenerse a 11°C durante 92 minutos se reducía a 83 minutos si la temperatura se incrementaba a 21°C y solamente a 51 minutos si la temperatura subía hasta los 30°C. En nuestro estudio los sujetos fueron sometidos a 29°C de temperatura y a una humedad relativa del 75%, lo que supone un estrés térmico importante que afecta al rendimiento.

La adecuada rehidratación tras un ejercicio físico intenso en ambientes climáticos adversos se consigue con la reposición de agua y electrolitos (Gonzales-Alonso *et al.*, 1992; Nielsen *et al.*, 1986). La reposición de líquido ha de ser superior a la de la pérdida por sudor, pues de lo contrario los sujetos seguirían hipohidratados (Maughan *et al.*, 1997). En nuestro estudio hemos rehidratado a los sujetos con un 150% de la cantidad de peso perdido.

Además, el diferente contenido en sodio del agua de bebida influye en el proceso de rehidratación, siendo el volumen de orina producido mayor cuando se rehidrataba a los sujetos con una bebida de escaso contenido en sodio (Maughan y Leiper, 1995). En nuestro estudio, hemos comparado la rehidratación con dos bebidas de diferente mineralización (AMF y AMD) con un contenido mucho más elevado en electrolitos, entre ellos el sodio, en el AMF (Magma® de Cabreiroá). Nuestros resultados muestran una menor diuresis y por tanto una mayor retención de agua corporal con el agua Magma® de Cabreiroá.

Conclusiones

La hidratación en las cinco primeras horas tras el ejercicio es más adecuada con una bebida de mineralización fuerte (Magma® de Cabreiroá) que con un agua de mineralización débil, que suele ser la habitualmente utilizada en la rehidratación de deportistas.

La disminución de la diuresis, que conlleva una mayor retención de agua en el interior del organismo, proporciona unas mejores condiciones de recuperación del deportista, permitiendo la realización de una nueva sesión de entrenamiento o competición.

Bibliografía

- ARMSTRONG, L. E.; MARESH, K. M.; GABAREE, C. V., *et al.*, "Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration and water intake". *Applied Physiology*, 1997, n.º 82, pp. 2028-2035.
- CONVERTINO, V. A.; ARMSTRONG, L. E.; COYLE, E. F., *et al.*, "American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1996, n.º 28, pp. I-VII.
- GALLOWAY, S. D. R.; SHIRREFFS, S. M.; LEIPER, J. B., y MAUGHAN, R. J., "Exercise in the heat: factors limiting exercise capacity and methods for improving heat tolerance". *Sports, Exercise and Injury*, 1997, n.º 3, pp. 19-24.
- GONZALES-ALONSO, J., HEAPS, C. L. y COYLE, E. F., "Rehydration after exercise with common beverages and water". *International Journal of Sports Medicine*, 1992, n.º 13, pp. 399-406.
- GOULET, E. D. B., MÉLANÇON, M. O. y MADJAR, K., "Meta-analysis of the effect of exercise-induced dehydration on endurance performance". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008, n.º 40 (5), pp. S396.
- GREENLEAF, J. E., "Problem: thirst, drinking behavior and involuntary dehydration". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, junio de 1992, n.º 24 (6), pp. 645-656.
- MARESH, C. M. *et al.*, "Effect of hydration status on thirst, drinking and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat". *Journal of Applied Physiology*, julio de 2004, n.º 97 (1), pp. 39-44.
- MAUGHAN, R. J. y LEIPER, J. B., "Sodium intake and post-exercise rehydration in man". *European Journal of Applied Physiology*, 1995, n.º 71, pp. 311-319.
- MAUGHAN, R. J., LEIPER, J. B. y SHIRREFFS, S. M., "Factors influencing the restoration of fluid and electrolyte balance after exercise in the heat". *British Journal of Sports Medicine*, 1997, n.º 31, pp. 175-182.
- MORGAN, R. M., PATTERSON, M. J. y NIMMO, M. A., "Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat". *Acta Physiologica Scandinavica*, septiembre de 2004, n.º 182 (1), pp. 37-43.
- MURRAY, B., "Hydration and physical performance". *Journal of the American College of Nutrition*, 2007, vol. 26, n.º 5, pp. 542S-548S.
- NADEL, E. R., MACK, G. W. y NOSE, H., "Influence of fluid replacement beverages on body fluid homeostasis during exercise and recovery". En GISOLFI, C. V. y LAMB, D. R. (eds), *Perspectives in exercise science and sports medicine*. Volumen 3, "Fluid homeostasis during exercise", pp. 181-205. Carmel: Benchmark Press, 1990.

- NIELSEN, B.; SJOGAARD, G.; UGLEVIG, J.; KNUDSEN, B., y DOHLMANN, B., "Fluid balance in exercise dehydration and rehydration with different glucose-electrolyte drinks". *European Journal of Applied Physiology*, 1986, n.º 55, pp. 318-325.
- NOAKES, T. D. y SPEEDY, D. B., "Case proven: exercise associated hyponatraemia is due to overdrinking. So why did it take 20 years before the original evidence was accepted?". *British Journal of Sports Medicine*, 2006, n.º 40 (7), pp. 567-57.
- OSTERBERG, K. L., HORSWILL, C. A. y BAKER, L. B., "Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition". *Journal of Athletic Training*, 2009, n.º 44 (1), pp. 53-57.
- SAWKA, M. N. y COYLE, E. F., "Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat". *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 1999, n.º 27, pp. 167-218.
- SAWKA, M. N.; BURKE, L. M.; EICHNER, E. R.; MAUGHAN, R. J.; MONTAIN, S. J., y STACHENFELD, N. S.: "American College of Sports Medicine: Exercise and fluid replacement". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2007, n.º 39, pp. 377-390.
- SAWKA, M. N. y PANDOLF, K. B., "Effects of body water loss on physiological function and exercise performance". En GISOLFI, C. V. y LAMB, D. R. (eds.), *Fluid homeostasis during exercise*. Carmel: Benchmark Press, 1990, pp. 1-38.
- SHIRREFFS, S. M., "Hydration: Special issues for playing football in warm and hot environments". *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2010, n.º 20 (supl. 3), pp. 90-94.
- SHIRREFFS, S. M.; TAYLOR, A. J.; LEIPER, J. B., y MAUGHAN, R. J., "Postexercise rehydration in man: effects of volume consumed and sodium content of ingested fluids". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1996, n.º 28, pp. 1260-1271.
- SIEGLER, J. C. *et al.*, "Hydration, thermoregulation, and performance effects of two sport drinks during soccer training sessions". *Journal of Strength and Conditioning Research*, septiembre de 2008, n.º 22 (5), pp. 1394-1401.
- HERMANSEN, K., "Diet, blood pressure and hypertension". *British Journal of Nutrition*, 2000, n.º 83 (supl. 1), pp. S113-S119.
- THORNTON, S. N., "Thirst and hydration: physiology and consequences of dysfunction". *Physiology and Behavior*, 26 de abril de 2010, n.º 100 (1), pp. 15-21.
- WILLIAMS, J.; TZORTZIOU BROWN, V.; MALLIARAS, P.; PERRY, M., y KIPPS, C., "Hydration strategies of runners in the London Marathon". *Clinical Journal of Sports Medicine*, marzo de 2012, n.º 22 (2), pp. 152-156.

Predicción del Ritmo de Competición en Carreras de Fondo desde la concentración de lactato a ritmos cercanos al de competición

Iker Muñoz Pérez, Diego Moreno Pérez, Claudia Cardona González, Jonathan Esteve-Lanao.
Laboratorio de Entrenamiento Deportivo, Universidad Europea de Madrid

Dirección para correspondencia:
Jonathan Esteve-Lanao,
Universidad Europea de Madrid, Facultad CC Afy y Deporte, Laboratorio de Entrenamiento Deportivo,
C/Toledo s/n, 28670 Madrid, España. E-mail: jesteve@uem.es; Tfn: 91 2115500 – ext 3013



Universidad
Europea de Madrid
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Introducción

La predicción del rendimiento del atleta en las carreras de fondo aporta una información vital al entrenador respecto a la planificación de estrategias competitivas. En las últimas décadas, numerosos estudios científicos han desarrollado modelos matemáticos cuyo objetivo ha sido la predicción del rendimiento en pruebas de medio-fondo, fondo y ultra-fondo (4), (5), (6), (7), (15).

Ante el gran número de variables antropométricas (2, 1, 3) y fisiológicas (4, 6, 7, 8, 9, 10) capaces de predecir el rendimiento en competiciones, parece ser que las marcas en otras distancias competitivas son la mejor selección a la hora de conseguir este objetivo (5, 14, 6, 16). Pese a ser unos buenos predictores, estos datos de anteriores competiciones, no aportan información alguna a la hora de conocer qué aspectos a nivel fisiológico necesitan mayor mejora.

Objetivos

Desarrollar una ecuación capaz de predecir el rendimiento de atletas en carreras de fondo en pruebas de 10 kilómetros en ruta (10K), Media Maratón (21K) y maratón (42K), a partir de la concentración de Lactato sanguíneo (LA) a velocidades alrededor de la prevista para la competición.

Material y Métodos

Sujetos

54 competidores populares de diferentes niveles de rendimiento completaron el estudio. Los rangos de Marcas fueron: 10K (n=15): 32min - 50min; 21K (n=24): 1h04min - 1h57min; 42K (n=15): 2h30min - 4h02min). Todos ellos fueron incluidos en el estudio por completar la competición demostrando máximo esfuerzo y siendo ésta su mejor marca personal o mejor marca de la temporada. Se excluyeron otros sujetos a quienes se había evaluado pero que no habían realizado una buena competición.

Test Fisiológico

Los sujetos realizaron, entre 5 y 10 días antes de la competición objetivo de su preparación, un test en pista a ritmo constante sobre 2420m a dos ritmos distintos. Un ritmo fue ligeramente inferior al previsto en la competición (V1), y otro a ritmo de competición o ligeramente superior (V2). Se marcó el ritmo por señales sonoras en referencias cada 100 metros, realizando 2 repeticiones de 1200m en cada ritmo. Se tomaron muestras de LA en sangre capilar en el vértice de la lengua, tanto al terminar cada repetición como tras 1 minuto de la 2ª repetición de un mismo ritmo. Tras 3 minutos de pausa finalizado el primer ritmo, se recogieron las mediciones con el ritmo igual al superior al de competición (V2). Figura 1.

Tabla 1. Características fisiológicas de los sujetos (media ± SD)

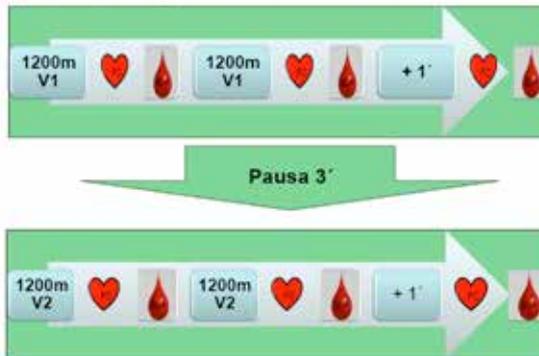
	V1(km/h)	FC1	LA1 (mMol.L ⁻¹)	V2(km/h)	FC2	LA2 (mMol.L ⁻¹)
10K (n=15)	15 ± 2	154 ± 6	5 ± 2	16 ± 2	172 ± 5	8 ± 2
21K (n=24)	14 ± 2	154 ± 12	3 ± 2	15 ± 2	164 ± 11	5 ± 2
42K (n=15)	13 ± 1	152 ± 10	2 ± 1	14 ± 1	158 ± 9	3 ± 2

FC1= Frecuencia Cardíaca correspondiente a V1, FC2= Frecuencia Cardíaca correspondiente a V2, LA1= Concentración de Lactato Sanguíneo asociado a V1, LA2= Concentración de Lactato Sanguíneo asociado a V2, V1= velocidad inferior a la prevista en competición, V2= velocidad igual o superior a la prevista en competición.

Resultados

No se hallaron variables excluidas en el modelo para estimar la marca en 10K. En los 21K, se halló un modelo que incluía una correlación, significativa, directa entre V2, LA2 y marca en carrera. **V21K (km/h) = (V2*1,085)+(bLA2*-0,282)-0,131** (r=0,93; p < 0,01); ETE=0,414 km/h. En los 42K, se encontró un modelo de correlación, significativa, directa entre V1, LA1 y marca en carrera. **V42K(km/h) = (V1*1,085)+(bLA1*-0,429)-0,170** (r=0,81; p < 0,05); ETE=0,626 km/h.

Figura 1. Protocolo del test fisiológico.



Discusión

El número de variables estudiadas en las diferentes investigaciones científicas publicadas bajo objetivo es la creación de una ecuación capaz de predecir el rendimiento, ya desde variables antropométricas (1, 3), pasando por número de días entrenados por semana y edad del atleta (2), Máximo Consumo de Oxígeno (VO2max) (4), regresiones múltiples que incluyeran únicamente variables fisiológicas (11, 12, 16, 17), hasta otros que utilizan tanto variables antropométricas como fisiológicas (5, 10).

Los resultados obtenidos en este estudio, pusieron de manifiesto una mejor ecuación predictora del rendimiento para la prueba de 21K mediante la inclusión en ésta de las variables V2 y LA2 $V21K (km/h) = (V2*1,085)+(bLA2*-0,282)-0,131$.

Respecto a la distancia competitiva de 42K, las mejores variables predictoras del rendimiento fueron V1 y LA1 $V42K(km/h) = (V1*1,085)+(bLA1*-0,429)-0,170$.

Un trabajo de Föhrnbach y cols. (8) mostró como una concentración óptima a 2,3 mMol.L⁻¹ y 3 mMol.L⁻¹ junto con la velocidad a la cual se alcanzaban éstas, eran el mejor predictor para obtener la velocidad de carrera sobre 42K. Estas concentraciones, son muy próximas a LA1 de los sujetos de la presente investigación (Tabla 1).

En el caso de la predicción sobre 10K, ninguna de las variables estudiadas fue capaz de predecir de manera significativa el rendimiento de los atletas participantes en esta distancia.

Una de las principales razones ante las cuales las variables estudiadas no hayan podido predecir de una manera fiable el rendimiento en 10K, ha podido ser la elección de estas mismas para una prueba que se desarrolla a un nivel próximo al segundo umbral fisiológico. Un magnífico estudio de Wynd y cols. (10) mostró como la mejor variable predictora del rendimiento en pruebas de 100 a 400 metros fue el Diferencial Fijo de Oígeno (FDO), y a su vez el VO2max fue el mejor predictor para pruebas desde 800m hasta 5000m. Un estudio de Mañu y cols. (11) determinó una mayor correlación entre velocidad de carrera (RS) y segundo umbral fisiológico en distancias iguales y superiores a los 5000m, no encontrándose correlaciones significativas entre las variables estudiadas y distancia más corta. Así pues, parece ser que hasta los 10K una de las mejores variables predictoras del rendimiento es el VO2max, o la velocidad a la cual se alcanza el VO2max (vVO2max) (12).

Los dos modelos presentados en este trabajo aportan una mayor simplicidad, respecto a modelos anteriormente publicados, a la hora de predecir el rendimiento en competición. Si bien, es necesario contemplar la inclusión de otras variables que permitan tener una fiabilidad mayor en la predicción del rendimiento, en especial en lo que se refiere a modelos matemáticos pensados para la competición sobre 42K.

Conclusiones

La correlación entre la concentración de LA y la velocidad próxima al ritmo de carrera fueron capaces de generar ecuaciones altamente fiables a la hora de predecir el rendimiento en competición sobre 21K y 42K. No así pudo desarrollarse un modelo matemático fiable con estas variables y el rendimiento en carreras de 10K.

Bibliografía

- (1) Bale P, Bradbury D, Colley E. Anthropometric and training variables related to 10km running performance. *Br J Sports Med* 1986 12(264):170-173.
- (2) Bale P, Rowell D, Colley E. Anthropometric and training characteristics of female marathon runners as determinants of distance running performance. *J Sports Sci* 1985 3(2):115-126.
- (3) Berg K, Lattin RH, Coffey C. Relationship of somatotype and physical characteristics to distance running performance in middle age athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 1998 38(3):253-257.
- (4) Davies CT, Thompson MG. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1975 34:213-242.
- (5) Deason J, Powers SK, Lauer J, Hayes D, Stuart MK. Physiological correlates to 800 meter running performance. *J Sports Med Phys Fitness* 1991 31(1):499-504.
- (6) Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *1979. Med Sci Sports Exerc* 1993 10(25):1001-1007.
- (7) Fay L, Looney BR, LaPortaine TP, Vleck MR. Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1989 21(3):319-324.
- (8) Föhrnbach R, Mader A, Hofmann W. Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. *Int J Sports Med* 1987 8(2):83-115.
- (9) Grant S, Chang I, Wilson J, Archibald T. The relationship between 3 km running performance and selected physiological variables. *J Sports Sci* 1997 15(4):403-410.
- (10) Hughson RW, Smith MG, Getman LR. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training volume. *Med Sci Sports Exerc* 1981 13(3):195-199.
- (11) Mañu N, Capasso G, Larica A. Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. *J Sports Med Phys Fitness* 1991 30(3):332-336.
- (12) Morgan DW, Baldo PD, Martin PE, Koffel WM. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO2max among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989 21(11):79-81.
- (13) Nicholson RM, Stevent GD. Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. *Med Sci Sports Exerc* 2001 32(3):239-242.
- (14) Rozakis TD, Molyneugh KH, Sparto R. Peak treadmill running velocity during the VO2 max test predicts running performance. *J Sports Sci* 1990 8(1):35-40.
- (15) Pott MA, Nelson CM, Rhodes EC. Comparison of a mathematical model to predict 10-km performance from the Conconi test and ventilatory threshold measurements. *Can J Appl Physiol* 1997 12(22):562-572.
- (16) Roedker K, Schutte O, Niese AM, Hornsman T, Dickhut H. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc* 1989 21(10):1532-1537.
- (17) Stalvey RM, Wallace LA, Murphy AJ, Coulls AJ. Physiological determinants of three kilometer running performance in experienced triathletes. *J Strength Cond Res* 2006 20(2):291-41-52.
- (18) Stone H. Empirical study of training and performance in the marathon. *Int J Sports Sci* 1997 15(4):641-703-777.
- (19) Wynd PC, Costill KJ, Conley DB, Stenger MA, Liu YL. Peak oxygen deficit predicts split and middle-distance track performance. *Med Sci Sports Exerc* 1994 26(26):1174-1180.

Figura 66: Póster n.º 2. Predicción del ritmo de competición en carreras de fondo desde la concentración de lactato a ritmos cercanos al de competición. Iker Muñoz Pérez, Diego Moreno Pérez, Claudia Cardona González y Jonathan Esteve-Lanao.

PREDICCIÓN DEL RITMO DE COMPETICIÓN EN CARRERAS DE FONDO DESDE LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO A RITMOS CERCANOS AL DE COMPETICIÓN (figura 66)

Iker Muñoz Pérez, Diego Moreno Pérez, Claudia Cardona González y Jonathan Esteve-Lanao

Laboratorio de Entrenamiento Deportivo, Universidad Europea de Madrid

Dirección para correspondencia:

Jonathan Esteve-Lanao. Universidad Europea de Madrid, Facultad de CC.

Af. y Deporte, Laboratorio de Entrenamiento Deportivo.

C/Tajo s/n, 28670 - Madrid, España. E-mail: jonathan.esteve@uem.es, tfno: 91 2115500 (ext. 3013)

Introducción

La predicción del rendimiento del atleta en las carreras de fondo aporta una información vital al entrenador respecto a la planificación de estrategias competitivas. En las últimas décadas, numerosos estudios científicos han desarrollado modelos matemáticos cuyo objetivo ha sido la predicción del rendimiento en pruebas de medio-fondo, fondo y ultra-fondo (4, 5, 6, 7, 15). Ante el gran número de variables antropométricas (2, 1, 3) y fisiológicas (4, 6, 7, 8, 9, 13) capaces de predecir el rendimiento en competición, parece ser que las marcas en otras distancias competitivas son la mejor elección a la hora de conseguir este objetivo (5, 14, 6, 18), pero pese a ser unos buenos predictores, estos datos de anteriores competiciones no aportan información alguna a la hora de conocer qué aspectos a nivel fisiológico necesitan mayor mejora.

Objetivos

Desarrollar una ecuación capaz de predecir el rendimiento de atletas en carreras de fondo en pruebas de 10 kilómetros en ruta (10k), media maratón (21k) y maratón (42k), a partir de la concentración de lactato sanguíneo (bLA) a velocidades alrededor de la prevista para la competición.

Material y métodos

Sujetos

Completaron el estudio 64 corredores populares de diferentes niveles de rendimiento. Los rangos de marcas fueron: 10k (n=19): 32 min - 56 min ; 21k (n=24): 1h 04 min - 1h 57 min ; 42k (n=21): 2h 38 min - 4h 02 min. Todos ellos fueron incluidos en el estudio por completar la competición, demostrando máximo esfuerzo y siendo esta su mejor marca personal o mejor marca de la temporada. Se excluyeron otros sujetos a quienes se había evaluado pero que no habían realizado una buena competición.

Test fisiológico

Los sujetos realizaron, entre 5 y 10 días antes de la competición objetivo de su preparación, un test en pista a ritmo constante sobre 2.400 m a dos ritmos distintos. Un ritmo fue ligeramente inferior al previsto en la competición (V1), y otro a ritmo de competición o ligeramente superior (V2). Se marcó el ritmo por señales sonoras en referencias cada 100 metros, realizándose dos repeticiones de 1.200 m en cada ritmo, y se tomaron muestras de bLA en sangre capilar en el lóbulo de la oreja, tanto al terminar cada repetición como un minuto después de la 2.^a repetición de un mismo ritmo. Tras tres minutos de pausa finalizado el primer ritmo, se repetían las mediciones con el ritmo igual o superior al de competición.

Resultados

No se hallaron variables incluidas en el modelo para estimar la marca en 10 km. En los 21 km, se halló un modelo que incluía una correlación, significativa, directa entre V2, bLA2 y marca en carrera: $V21k \text{ (km/h)} = (V2 * 1,085) + (-bLA2 * -0,282) - 0,131$ ($r^2=0,97$; $p<0,01$); ETE=0,414 km/h. En los 42 km, se encontró un modelo de correlación, significativa y directa, entre V1, bLA1 y marca en carrera: $V42k \text{ (km/h)} = (V1 * 1,085) + (bLA1 * -0,429) - 0,170$ ($r^2=0,81$; $p<0,05$); ETE=0,626 km/h.

Discusión

El número de variables estudiadas en las diferentes investigaciones científicas publicadas cuyo objetivo es la creación de una ecuación capaz de predecir el rendimiento va desde variables antropométricas (1, 3) a número de días entrenados por semana y edad del atleta (2), pasando por máximo consumo de oxígeno ($VO_2\text{máx}$) (4) y regresiones múltiples que incluyen únicamente variables fisiológicas (11, 12, 16, 17), hasta otros que utilizan tanto variables antropométricas como fisiológicas (5, 10).

Los resultados obtenidos en este estudio pusieron de manifiesto una mejor ecuación predictora de rendimiento para la prueba de 21 km mediante la inclusión en esta de las variables V2 y bLA2: $V21k \text{ (km/h)} = (V2 * 1,085) + (bLA2 * -0,282) - 0,131$.

Respecto a la distancia competitiva de 42 km, las mejores variables pronosticadoras del rendimiento fueron V1 y bLA1: $V42k \text{ (km/h)} = (V1 * 1,085) + (bLA1 * -0,429) - 0,170$.

Un trabajo de Föhrenbach y cols. (8) mostró cómo una concentración próxima a 2,5 mMol/L-1 y 3 mMol/L-1 junto con la velocidad a la cual se alcanzaban estas eran el mejor predictor para obtener la velocidad de carrera sobre 42 km.

Estas concentraciones son muy próximas a bLA1 de los sujetos de la presente investigación (tabla 1).

En el caso de la predicción sobre 10 km, ninguna de las variables estudiadas fue capaz de predecir de manera significativa el rendimiento de los atletas participantes en esta distancia.

Una de las principales razones ante las cuales las variables estudiadas no hayan podido predecir de una manera fiable el rendimiento en 10 km ha podido ser la elección de estas mismas para una prueba que se desarrolla a un nivel próximo al segundo umbral fisiológico. Un magnífico estudio de Weyand y cols. (19) mostró cómo la mejor variable predictora del rendimiento en pruebas de 100 a 400 metros fue el déficit pico de oxígeno (POD), y a su vez el $VO_{2\text{pico}}$ fue el mejor predictor para pruebas desde 800 m hasta 5.000 m. Un estudio de Maffulli y cols. (11) determinó una mayor correlación entre velocidad de carrera (RS) y segundo umbral fisiológico en distancias iguales y superiores a los 5.000 m, no encontrándose correlaciones significativas entre las variables estudiadas y distancias más cortas. Así pues, parece ser que hasta los 10 km una de las mejores variables predictivas del rendimiento es el $VO_{2\text{max}}$, o la velocidad a la cual se alcanza el $VO_{2\text{max}}$ ($vVO_{2\text{max}}$) (12).

Los dos modelos presentados en este trabajo aportan una mayor simplicidad, respecto a modelos anteriormente publicados, a la hora de predecir el rendimiento en competición, si bien es necesario contemplar la inclusión de otras variables que posibiliten tener una fiabilidad mayor en la predicción del rendimiento, en especial en lo que se refiere al modelo matemático planteado para la competición sobre 42 km.

Conclusiones

La correlación entre la concentración de bLA y la velocidad próxima al ritmo de carrera fueron capaces de generar ecuaciones altamente fiables a la hora de predecir el rendimiento en competición sobre 21 km y 42 km. En cambio, no pudo desarrollarse un modelo matemático fiable con estas variables y el rendimiento en carreras de 10 km.

Bibliografía

- BALE, P., BRADBURY, D. y COLLEY, E., "Anthropometric and training variables related to 10 km running performance". *British Journal of Sports Medicine*, dic. 1986, n.º 20 (4), pp. 170-173.
- BALE, P., ROWELL, S. y COLLEY, E., "Anthropometric and training characteristics of female marathon runners as determinants of distance running performance". *Journal of Sports Sciences*, 1985, n.º 3 (2), pp. 115-126.
- BERG, K., LATIN, R. W. y COFFEY, C., "Relationship of somatotype and physical characteristics to distance running performance in middle age runners". *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, sept. 1998, n.º 38 (3), pp. 253-257.
- DAVIES, C. T. y THOMPSON, M. W., "Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes". *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, agosto de 1979, n.º 41 (4), pp. 233-245.
- DEASON, J.; POWERS, S. K.; LAWLER, J.; AYERS, D., y STUART, M. K., "Physiological correlates to 800 meter running performance". *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, dic. 1991, n.º 31 (4), pp. 499-504.
- FARRELL, P. A.; WILMORE, J. H.; COYLE, E. F.; BILLING, J. E., y COSTILL, D. L., "Plasma lactate accumulation and distance running performance". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1979, n.º 11 (4), pp. 338-344.
- FAY, L.; LONDEREE, B. R.; LAFONTAINE, T. P., y VOLEK, M. R., "Physiological parameters related to distance running performance in female athletes". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, junio de 1989, n.º 21 (3), pp. 319-324.
- FÖHRENBACH, R., MADER, A. y HOLLMANN, W., "Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners". *International Journal of Sports and Medicine*, feb. 1987, n.º 8 (1), pp. 11-18.
- GRANT, S.; CRAIG, I.; WILSON, J., y AITCHISON, T., "The relationship between 3 km running performance and selected physiological variables". *Journal of Sports Sciences*, agosto de 1997, n.º 15 (4), pp. 403-410.
- HAGAN, R. D., SMITH, M. G. y GETTMAN, L. R., "Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1981, n.º 13 (3), pp. 185-189.
- MAFFULLI, N., CAPASSO, G. y LANCIA, A., "Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running". *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, sept. 1991, n.º 31 (3), pp. 332-338.
- MORGAN, D. W.; BALDINI, F. D.; MARTIN, P. E., y y KOHRT, W. M., "Ten kilometer performance and predicted velocity at VO_2 max among well-trained male

- runners". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, feb. 1989, n.º 21 (1), pp. 78-83.
- NICHOLSON, R. M. y SLEIVERT, G. G., "Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, feb. 2001, n.º 33 (2), pp. 339-342.
- NOAKES, T. D., MYBURGH, K. H. y SCHALL, R., "Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance". *Journal of Sports Sciences*, 1990, n.º 8 (1), pp. 35-45.
- PETIT, M. A., NELSON, C. M. y RHODES, E. C., "Comparison of a mathematical model to predict 10-km performance from the Conconi test and ventilatory threshold measurements". *Canadian Journal of Applied Physiology*, dic. 1997, n.º 22 (6), pp. 562-572.
- ROECKER, K.; SCHOTTE, O.; NIESS, A. M.; HORSTMANN, T., y DICKHUTH, H. H., "Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, oct. 1998, n.º 30 (10), pp. 1552-1557.
- SLATTERY, K. M.; WALLACE, L. K.; MURPHY, A. J., y COUTTS, A. J., "Physiological determinants of three-kilometer running performance in experienced triathletes". *Journal of Strength and Conditioning Research*, feb. 2006, n.º 20 (1), pp. 47-52.
- SLOVIC, P., "Empirical study of training and performance in the marathon". *Research Quarterly for Exercise and Sport*, dic. 1977, n.º 48 (4), pp. 769-777.
- WEYAND, P. G.; CURETON, K. J.; CONLEY, D. S.; SLONIGER, M. A., y LIU, Y. L., "Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, sept. 1994, n.º 26 (9), pp. 1174-1180.

Relación entre % 1RM y velocidad media para Sentadilla a 90° en Multipower en deportistas de resistencia

Francisco Javier Orozco Carrillo, Diego Moreno Pérez, Jonathan Esteve-Lanao, Universidad Europea de Madrid, Spain, Laboratorio de Entrenamiento Deportivo.

Introducción

Diversos trabajos han descrito una relación lineal entre la velocidad máxima a la que se puede movilizar un peso y el % de 1RM que éste supone (González-Badillo y Ribas Serna 2002). Estas ecuaciones, sin embargo, parecen específicas del deporte y nivel de entrenamiento de los sujetos.

Objetivo

Observar la relación entre % de 1RM y su velocidad media en sentadilla 90° en multipower en deportistas de resistencia.

Método

Participaron 34 deportistas de resistencias entrenados, con experiencia en evaluaciones de 1RM y potencia. Realizaron el test durante el periodo de preparación general. Se realizó un protocolo progresivo (adaptado del original de Nacero 2008) empezando por 28 kg externos con un incremento de 20kgs entre series, 2-3 repeticiones por serie, hasta llegar a 1RM. Para ajustar mejor las cargas lo más cercanas a 1RM, se permitió en las últimas series realizar un incremento de 10kgs. En caso de poder hacer 2-3RM, se permitió hacerlas y se estimó 1RM desde la regresión lineal individual. Ninguno de los sujetos superó 3RM. Se registró la velocidad de cada repetición con un sistema encoder rotatorio (Quasar Control, EV-Pro Isocontrol, Madrid, España), determinándose la velocidad media (m/s) de la repetición más rápida en cada carga. Se pidió a los sujetos realizar cada repetición a máxima velocidad. Las pausas entre series fueron de 2 minutos en las primeras cargas y hasta 3-5 minutos para las últimas cargas.

Para calcular el % de 1RM, se incluyó el 100% del peso corporal (peso total= PC + peso externo). Se realizó una regresión lineal con todos los datos que relacionaban % 1RM y velocidad.



Fig 1.- Detalle del desarrollo del test

Resultados

La regresión lineal entre % de 1RM y velocidad media (m/s) fue descrita por la siguiente ecuación: $\%1RM = (-67.9 \cdot V) + 119.54$, (donde V= velocidad media de la repetición en m/s) con una $r^2 = 0.86$ ($r=0.93$).

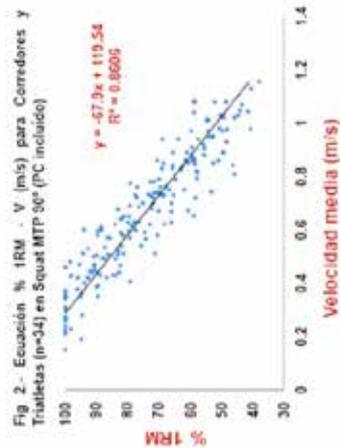


Fig 2.- Ecuación $\% 1RM = V$ (m/s) para Corredores y Triatletas (n=34) en Squat MTP 90° (PC incluido)

Discusión

Una de las utilidades de conocer esta ecuación es poder estimar, desde un solo movimiento y con cualquier peso, el % de 1RM aproximado con el que se está trabajando. Ya cuando el deportista está preparado, podrá evaluarse su 1RM y su relación propia de % 1RM y velocidad, así como otros índices de potencia máxima y fuerza y potencia relativas. La ecuación permite realizar una estimación inicial del % de 1RM movilizad en esta población a una velocidad determinada. La velocidad correspondiente a 1RM sería de 0.288. Para el 90%, 80%, 70%, 60%, y 50% sería, respectivamente, de 0.43 / 0.58 / 0.73 / 0.88 / 1.02.

Conclusión

Se describió la ecuación entre % 1RM y velocidad media en Sentadilla en MTP para deportistas de resistencia.

Referencias Bibliográficas

- González-Badillo, J, Ribas Serna J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Madrid, INDE, 2002.
- Nacero, F. Valoración de la fuerza, potencia y velocidad en los ejercicios de resistencia gravitatoria: utilizando el encoder rotatorio. EN Jiménez A. Nuevas dimensiones del entrenamiento de la fuerza Capítulo 7, pp. 117-223. Madrid, INDE, 2008

Dirección para correspondencia:

Jonathan Esteve-Lanao,
 Universidad Europea de Madrid, Facultad CC Afy Deporte,
 Laboratorio de Entrenamiento Deportivo,
 C/Trío s/n, 28870 Madrid, España.
 Email: jonathan.esteve@uem.es
 Tlf: 91 211550 - ext 3013

Figura 67: Póster n.º 3. Relación entre porcentaje 1RM y velocidad media para sentadilla a 90° en multipower en deportistas de resistencia. Francisco Javier Orozco Carrillo, Diego Moreno Pérez y Jonathan Esteve-Lanao.

RELACIÓN ENTRE PORCENTAJE 1RM Y VELOCIDAD MEDIA PARA SENTADILLA A 90° EN MULTIPOWER EN DEPORTISTAS DE RESISTENCIA (figura 67)

Francisco Javier Orozco Carrillo, Diego Moreno Pérez y Jonathan Esteve-Lanao.

Laboratorio de Entrenamiento Deportivo, Universidad Europea de Madrid, España.

Introducción

Diversos trabajos han descrito una relación lineal entre la velocidad máxima a la que se puede movilizar un peso y el porcentaje de 1RM que este supone (González-Badillo y Ribas Serna, 2002). Estas ecuaciones, sin embargo, parecen específicas del deporte y del nivel de entrenamiento de los sujetos.

Objetivo

Observar la relación entre porcentaje de 1RM y su velocidad media en sentadilla 90° en multipower en deportistas de resistencia.

Para calcular el porcentaje de 1RM, se incluyó el 100% del peso corporal (peso total=PC+peso externo). Se realizó una regresión lineal con todos los datos que relacionaban porcentaje de 1RM y la velocidad. Fig 1. Detalle del desarrollo del test

Resultados

La regresión lineal entre porcentaje de 1RM y velocidad media (m/s) fue descrita por la siguiente ecuación: $\%1RM = (-67,9 \cdot V) + 119,54$, donde V=velocidad media de la repetición en m/s con una $r^2=0,86$ ($r=0,93$).

Método

Participaron 34 deportistas de resistencia entrenados, con experiencia en evaluaciones de 1RM y potencia. Realizaron el test durante el período de preparación general. Se realizó un protocolo progresivo (adaptado del original de Naclerio de 2008) empezando por 28 kg externos con un incremento de 20 kg entre series, 2-3 repeticiones por serie, hasta llegar a 1RM. Para ajustar mejor las cargas lo más cercanas a 1RM, se permitió en las últimas series realizar un incremento de 10 kg. En caso de poder hacer 2-3RM, se permitió hacerlas y se estimó 1RM desde la regresión lineal individual, pero ninguno de los sujetos superó las 3RM.

Se registró la velocidad de cada repetición con un sistema encoder rotatorio (Quasar Control, de EV-Pro Isocontrol, Madrid, España), determinándose la

velocidad media (m/s) de la repetición más rápida en cada carga, y se pidió a los sujetos realizar cada repetición a máxima velocidad. Las pausas entre series fueron de 2 minutos en las primeras cargas y hasta 3-5 minutos para las últimas cargas.

Discusión

Una de las utilidades de conocer esta ecuación es poder estimar, desde un solo movimiento y con cualquier peso, el porcentaje de 1RM aproximado con el que se está trabajando. Ya cuando el deportista está preparado, podrá evaluarse su 1RM y su relación propia de porcentaje de 1RM y velocidad, así como otros índices de potencia máxima y fuerza y potencia relativas. La ecuación permite realizar una estimación inicial del porcentaje de 1RM movilizad o en esta población a una velocidad determinada. La velocidad correspondiente a 1RM sería de 0,288. Para el 90%, 80%, 70%, 60%, y 50% sería, respectivamente, de 0,43, 0,58, 0,73, 0,88 y 1,02.

Conclusión

Se describió la ecuación entre porcentaje de 1RM y velocidad media en sentadilla en MTP para deportistas de resistencia.

Bibliografía

GONZÁLEZ-BADILLO, J. J. y RIBAS SERNA, J., *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Madrid: INDE, 2002.

NACLEIRO, F., "Valoración de la fuerza, potencia y velocidad en los ejercicios de resistencia gravitatoria utilizando el encoder rotatoria". En JIMÉNEZ, A., *Nuevas dimensiones del entrenamiento de la fuerza*. Capítulo 7, pp. 117-223. Madrid: INDE, 2008.

Dirección para correspondencia

Jonathan Esteve-Lanao.

Laboratorio de Entrenamiento Deportivo, Facultad de CC. Af. y Deporte,
Universidad Europea de Madrid.

C/Tajo s/n, 28670 - Madrid, España. Email: jonathan.esteve@uem.

TÍTULO / TITLE

Necesidad Salvavidas Virtuales como solución para las FAS.

Autores / Authors: Amellugo Catalán, José y Gadea Vázquez, Antonio

Filiación / Hospital: Médico y Enfermero Militares de la COMGECEU (Jefatura Sanidad, Clínica Militar de Ceuta)

INTRODUCCIÓN/OBJETIVOS

Es previsible que médicos y enfermeros militares sigan actuando en ambientes extremos: en misiones de paz y en donde se haya producido un desastre. Miembros de la Sanidad Militar española y de otros países de UNIFIL han podido controlar el Soporte Vital Avanzado, con garantías suficientes, gracias a los programas de simulación médica que son capaces de aumentar la capacidad de respuesta del personal que presta los primeros auxilios. Se sugiere la necesidad de implementar la formación con simuladores para fortalecer la calidad de la atención y permitir satisfacer las demandas futuras.

MÉTODOS / Methods

Se estudia el grado de destreza alcanzado en SVA en médicos y enfermeros de ocho países de UNIFIL (Libano). Así mismo se estudió destreza alcanzada en SVB en 25 Soldados con nivel sanitario FSET-2/3. Usamos un simulador avanzado de Laerdal (*The Advanced Life Support Simulator*) que permite control remoto e interactividad; éste es un sistema de entrenamiento que consta de un maniquí sensorizado (*Resusc-Arnie-Simulator*) conectado a un ordenador (el sistema *Laerdal-PC-SkillReporting-System*) y que permite la simulación de diferentes emergencias médicas. Además consente interactuar al personal que se entrena, imbuendo, realizando masaje cardiaco monitorizado, enfrentándose a diversas arritmias cardíacas y desfibrilando cuando es preciso. El sistema puntúa en estas actividades el grado de destreza alcanzado. Realizado el *debriefing* y la evaluación tras los eventos; se estudia la pericia inicial al enfrentarse con el simulador y la alcanzada al finalizar el *medical training*.

RESULTADOS / DISCUSION

Los profesionales de la sanidad de un grado de habilidad inicial de un 25% como máximo alcanzaban del 95 al 100% siendo aquellos que recibieron previamente curso teórico de introducción en destreza en SVA los que mejores puntuaciones obtuvieron.

Gráficos y tablas / Graphs and tables

CONCLUSIONES / Conclusions

Para nosotros es importante desarrollar la experiencia pre-hospitalaria con simuladores en un servicio en continuo cambio y mantener el enfoque hacia la seguridad del paciente. Para ello es prioritario: recursos online previos, cursos presenciales de introducción, enseñanza en escenarios y cursos de actualizaciones futuras que permitan a los participantes refrescar sus conocimientos de enseñanza con simulación.

REFERENCIAS / References

1. Guesada Suscon, A. y cols. Formación en la asistencia al paciente crítico y politraumatizado: papel de la simulación clínica. *Med. Intensiva*. 2007;31(4):187-93.
2. <http://www.laerdal.com/Products/Products/21133000.aspx>, <http://www.laerdal.com/Products/Products/21133000.aspx>
3. Iglesias Vázquez, J.A. y cols. Estudio costo-efectividad de la enseñanza de la reanimación cardiopulmonar con simuladores. *Emergencias* 2007; 19:312-315

Figura 68: Póster n.º 4. Necesidad de salvavidas virtuales como solución para las FAS. Amellugo Catalán, José y Gadea Vázquez, Antonio

NECESIDAD DE SALVAVIDAS VIRTUALES COMO SOLUCIÓN PARA LAS FAS (FIGURA 68)

José Amellugo Catalán y Antonio Gadea Vázquez

Médico y enfermero militares de la COMGECEU (Jefatura Sanidad. Clínica Militar de Ceuta)

Introducción y objetivos

Es previsible que médicos y enfermeros militares sigan actuando en ambientes extremos: en misiones de paz y en donde se haya producido un desastre. Miembros de la Sanidad Militar española y de otros países de UNIFIL han podido controlar el soporte vital avanzado con garantías suficientes gracias a los programas de simulación médica que son capaces de aumentar la capacidad de respuesta del personal que presta los primeros auxilios. Se sugiere la necesidad de implementar la formación con simuladores para fortalecer la calidad de la atención¹ y permitir satisfacer las demandas futuras.

Métodos

Se estudió el grado de destreza alcanzado en SVA en médicos y enfermeros de ocho países de UNIFIL (Líbano). Así mismo, se estudió la destreza alcanzada en SVBen25 de soldados con nivel sanitario FSET-2/3. Usamos un simulador avanzado de Laerdal (The Advanced Life Support Simulator) que permite control remoto e interactividad; este es un sistema de entrenamiento que consta de un maniquí sensorizado (Resusci Anne Simulator) conectado a un ordenador (el sistema Laerdal PC Skill Reporting System) y que permite la simulación de diferentes emergencias médicas. Además, consiente interactuar al personal que se entrena intubando, realizando masaje cardiaco monitorizado, enfrentándose a diversas arritmias cardíacas y desfibrilando cuando es preciso. El sistema puntúa en estas actividades el grado de destreza alcanzado.

Realizado el *debriefing* y la evaluación tras los eventos se estudia la pericia inicial al enfrentarse al simulador y la alcanzada al finalizar el *medical training*.

Resultados y discusión

Los profesionales de la sanidad de un grado de habilidad inicial de un 25% como máximo alcanzaban del 95% al 100%, siendo aquellos que recibieron previamente el curso teórico de introducción en destreza en SVA los que mejores puntuaciones obtuvieron.

Conclusiones

Para nosotros es importante desarrollar la experiencia prehospitalaria con simuladores en un servicio en continuo cambio y mantener el enfoque hacia la

seguridad del paciente. Para ello, son prioritarios los recursos *online* previos, cursos presenciales de introducción, la enseñanza en escenarios y cursos de actualizaciones futuras que permitan a los participantes refrescar sus conocimientos de enseñanza con simulación.

Bibliografía

QUESADA SUESCUN, A. y cols., “Formación en la asistencia al paciente crítico y politraumatizado: papel de la simulación clínica”. *Medicina Intensiva*, 2007, n.º 31 (4), pp. 187-93. <http://www.laerdal.com/es/UserStories/42189305/Galicia-autoriza-la-formacion-con-simulacion-para-ayudar-a-que-el-personal-del-Servicio>.

IGLESIAS VÁZQUEZ, J. A. y cols., “Estudio coste-efectividad de la enseñanza de la reanimación cardiopulmonar con simuladores”. *Emergencias*, 2007, n.º 19, pp. 312-318.

EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO CON INESTABILIDAD: UN ESTUDIO PILOTO



Maté Muñoz José Luis¹, Muñoz González Arturo¹, Díez Rico Carlota¹, Ortega Becerra Manuel², Jodrá Jiménez Pablo¹, Garnacho Castaño Manuel V.¹

1 Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid
2 Universidad Pablo Olavide, Sevilla

Introducción

Los programas de entrenamiento de fuerza en crosst y en condiciones de estabilidad, son una excelente metodología para mejorar la fuerza muscular. Además, este entrenamiento realizado en forma de circuito es utilizado en el entorno deportivo para mejorar el rendimiento en deportes (1,2). En la literatura científica hay pocos estudios sobre programas de entrenamiento de fuerza en condiciones de inestabilidad. Muchos de estos trabajos han enfatizado sobre los mecanismos fisiológicos que controlan la estabilidad. Sin embargo, menos investigaciones han tratado de documentar los efectos del equilibrio en medidas de rendimiento (fuerza, potencia, velocidad, etc.) (3). El objetivo de las primeras investigaciones relacionadas con el entrenamiento de fuerza en condiciones de inestabilidad fue dirigido a comprobar los niveles de fuerza y de activación muscular en un mismo ejercicio bajo condiciones de estabilidad e inestabilidad. En estos estudios se sugiere una pirámide de fuerza muscular isométrica en el tren inferior y superior en condiciones de inestabilidad, así como un mantenimiento de la actividad muscular (4,5). La activación muscular fue incluso mayor en músculos antagonistas y sinérgicos bajo condiciones inestables contribuyendo probablemente a una mayor estabilización articular no siendo tan efectiva en el desarrollo de fuerza muscular (6). Además, en algunos de estos programas los ejercicios inestables se realizan en condiciones estacionarias y a baja velocidad (7), pudiendo no ser específicos en deportes donde el equilibrio dinámico es fundamental, así como los movimientos desarrollados a altas velocidades. Por tanto, un programa de entrenamiento con ejercicios globales en condiciones de inestabilidad a velocidades de ejecución submáximas en diferentes planos de movimiento, podría relacionarse con entrenamientos más específicos para determinados deportes donde son fundamentales este tipo de acciones.

Seo pocos los programas de entrenamiento de fuerza en condiciones de estabilidad e inestabilidad donde se comparan los efectos del equilibrio en medidas de rendimiento (8). Por tanto el objetivo de este estudio fue:

Objetivos

- 1- Evaluar la fuerza y la capacidad de salto comparando dos programas de entrenamiento: un programa con ejercicios tradicionales en tren superior e inferior en condiciones de estabilidad con mancuernas, barras y máquinas de musculación, y otro programa de fuerza en condiciones de inestabilidad con ejercicios globales desarrollados en aparatos específicos generadores de inestabilidad (BOSUB y TRX®).
- 2- Analizar si con esta metodología de entrenamiento se producen adaptaciones de fuerza al menos iguales a las que se producirían con un entrenamiento tradicional para poder aplicarlo al rendimiento deportivo.



Figura 2. Aparatos que generan inestabilidad: BOSUB (izquierda), TRX® (derecha).

Material y Métodos

Figura 2. Diferentes ejercicios en condiciones de inestabilidad.



Test

Las variables medidas antes y después del programa de entrenamiento fueron el test de salto vertical con contramovimiento (CMJ) registrando la altura de vuelo obtenida en una plataforma de contactos infrarroja (Optojump System, Morgana SARL, Bolzano, Italia), cogiendo la media de los 3 saltos como variables para el posterior análisis. Además, se midieron como variables de fuerza, la sentadilla (S) y el press de banca (BP) en un protocolo, en el que se estimaba la repetición máxima (1RM), en función de la velocidad de movimiento registrada con un dinamómetro isométrico T-Force Dynamic Measurement System (Ergotech, Murcia, Spain).

Programa de Entrenamiento

Tanto el grupo INESTABLES como el TRADICIONAL realizaron 3 sesiones semanales de +75 minutos de duración. Cada sesión de entrenamiento en circuito estaba compuesta de 8 ejercicios ejecutados alternativamente. Para cada ejercicio, los sujetos realizaron durante 7 semanas de entrenamiento 3 series de 10 repeticiones. Para minimizar la influencia de un posible efecto de aprendizaje en la mejora de la técnica y de la coordinación, se inició un periodo de familiarización de 1 semana, con 3 sesiones separadas entre sí. El grupo INESTABLES entrenó con dos aparatos que generan inestabilidad (BOSUB Balance Trainer™ y TRX® Suspension Training). Los ejercicios realizados en estos aparatos fueron globales, en donde se intercalaban acciones dinámicas de unas partes corporales con acciones de estabilización en otras. Se produjeron aceleraciones, estabilizaciones y deceleraciones durante cada ejercicio a velocidades de ejecución submáximas. En el grupo TRADICIONAL se incluyeron 8 ejercicios de musculación tradicionales con mancuernas, barras y máquinas de musculación similares a los ejercicios del grupo INESTABLES.

Análisis Estadístico

Para ver el efecto del entrenamiento se aplicaron pruebas de ANOVA con medidas repetidas, con un factor intra-sujetos, con la variable "Tiempo" en 2 niveles (PRE, POST). En el caso de hallarse diferencias significativas en la interacción ($p < 0,05$), se realizaron pruebas de ANOVA de un factor con Post-Hoc de Tukey para comparar las diferencias entre los tratamientos aplicados (INESTABLES, TRADICIONAL y CONTROL) todos los datos se expresaron en media (X) y desviación estándar (SD). El nivel de significación estadística establecido fue de $p < 0,05$. Para todas las pruebas se usó el programa informático SPSS versión 17.0 (SPSS, Chicago, IL).

Resultados

Efectos de 7 semanas de entrenamiento en variables relacionadas con la capacidad de salto y fuerza en tren inferior y superior. (*= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$).

Variables	Grupo	Pre	Post	F para efecto Grupo	F para efecto Tiempo	F para efecto Interacción Grupo x Tiempo
CMJ (cm)	inestables	91,7 ± 6,8	97,3 ± 6,3	0,076	<0,001*	-0,001*
	tradicional	94,3 ± 7,0	98,4 ± 6,3			
	control	93,8 ± 4,2	93,9 ± 4,3			
SB 10kg (kg)	inestables	83,08 ± 13,84	83,91 ± 17,37	0,046*	<0,001*	0,000**
	tradicional	86,56 ± 20,18	88,60 ± 21,50			
	control	83,81 ± 10,79	88,81 ± 12,09			
BP 10kg (kg)	inestables	27,06 ± 6,22	32,05 ± 5,96	0,004	0,001**	0,000
	tradicional	28,09 ± 16,20	31,90 ± 16,90			
	control	30,33 ± 18,29	31,00 ± 15,94			

En el test BP 1RM se encontraron diferencias significativas en el factor Tiempo ($F=13,42$; $p < 0,001$).

En el CMJ se encontraron diferencias significativas en el factor Tiempo ($F=69,2$; $p < 0,001$) e interacción ($F=17,4$; $p < 0,001$). Sin embargo, no alcanzaron significación estadística para determinar diferencias entre grupos ($F=2,766$; $p < 0,076$). Se hallaron mejoras significativas en el BS 1RM alcanzado en los factores Tiempo ($F=26,81$; $p < 0,001$), e interacción ($F=7,96$; $p < 0,01$). Al aplicar el ANOVA de un factor en el momento post, únicamente se hallaron diferencias significativas entre el grupo CONTROL con el TRADICIONAL ($F=3,767$; $p < 0,047$), no encontrándose diferencias entre los dos grupos experimentales.

Discusión y Conclusiones

La capacidad de salto se incrementó un 17,6% en el grupo INESTABLES y a un 15,2% en el TRADICIONAL. Además la fuerza de piernas aumentó un 13% después del entrenamiento en el grupo INESTABLES y un 12,6% en el TRADICIONAL, y la fuerza en el tren superior se incrementó un 6,5% después del entrenamiento en el grupo INESTABLES y un 3,93% en el TRADICIONAL. Por tanto, en ninguna de las variables analizadas se encontraron diferencias entre ambos grupos experimentales, siendo las mejoras producidas similares. Con todo esto, se concluyó diciendo que realizar un entrenamiento de 7 semanas con dos aparatos que generan inestabilidad, puede ser igual de efectivo que un entrenamiento en condiciones de estabilidad para mejorar la capacidad de salto y fuerza en determinadas acciones deportivas. Debido a que el diseño de estos ejercicios con inestabilidad puede asemejarse a diferentes acciones específicas de ciertos deportes, podrían ser apropiados para realizar un entrenamiento específico en el entorno deportivo, pudiendo utilizarse tanto en estadios iniciales de entrenamiento como en momentos cercanos a la competición.

Bibliografía

1. Alvarez PE, Perez-Gomez J, Chavarlas M, Blazquez AJ. Similarity in Adaptations to High-Resistance Circuit vs. Traditional Strength Training in Resistance-Trained Men. *J Strength Cond Res*. 25 (6): 2519-27. 2011.
2. Tapale RE, Mäkelä J, Nummela A, Vestinen V, et al. Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med*. 31 (7): 466-70. 2010.
3. Anderson K, and David G. Behm. The Impact of Instability Resistance Training on Balance and Stability. *Sports Med*. 35 (1): 43-53. 2005.
4. Anderson K and Behm D. Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *J Strength Cond Res*. 19: 637-640. 2004.
5. McBride JM, Comrie P, Deane R. Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions. *J Strength Cond Res*. 20(4): 915-918. 2006.
6. Behm DG, Anderson K, Cumek RS. Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *J Strength Cond Res*. 16(3):415-422. 2002.
7. Helikamp HC, Horstmann T, Mayer F, Weller J, Döckhuth HH. Gain in Strength and Muscular Balance After Balance Training. *Int J Sports Med*. 22: 295-300. 2001.
8. Kibira A, Behm DG. Seven weeks of instability and traditional resistance training effects on strength, balance and functional performance. *J Strength Cond Res*. 23 (8): 2443-50. 2009.

Figura 69: Póster n.º 5. Efectos de un programa de entrenamiento con inestabilidad: un estudio piloto. Maté Muñoz, José Luis; Muñoz González, Arturo; Díez Rico, Carlota; Ortega Becerra, Manuel; Jodrá Jiménez, Pablo, y Garnacho Castaño, Manuel V.

EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO CON INESTABILIDAD: UN ESTUDIO PILOTO (figura 69)

José Luis Maté Muñoz¹, Arturo Muñoz González¹, Carlota Díez Rico¹, Manuel Ortega Becerra², Pablo Jodrá Jiménez¹, Manuel V. Garnacho Castaño¹

¹ Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid

² Universidad Pablo Olavide, Sevilla

Introducción

Los programas de entrenamiento de fuerza en circuito y en condiciones de estabilidad son una excelente metodología para mejorar la fuerza muscular. Además, este entrenamiento realizado en forma de circuito es utilizado en el entorno deportivo para mejorar el rendimiento en deportistas (1, 2). En la literatura científica hay pocos estudios sobre programas de entrenamiento de fuerza en condiciones de inestabilidad. Muchos de estos trabajos han enfatizado sobre los mecanismos fisiológicos que controlan la estabilidad; sin embargo, menos investigaciones han tratado de documentar los efectos del equilibrio en medidas de rendimiento (fuerza, potencia, velocidad, etc.) (3).

El objetivo de las primeras investigaciones relacionadas con el entrenamiento de fuerza en condiciones de inestabilidad fue dirigido a comprobar los niveles de fuerza y de activación muscular en un mismo ejercicio bajo condiciones de estabilidad e inestabilidad. En estos estudios se sugiere una pérdida de fuerza muscular isométrica en el tren inferior y superior en condiciones de inestabilidad, así como un mantenimiento de la actividad muscular (4,5). La activación muscular fue incluso mayor en músculos antagonistas y sinérgicos bajo condiciones inestables lo que contribuyó probablemente a una mayor estabilización articular, no siendo tan efectiva en el desarrollo de fuerza muscular (6). Además, en algunos de estos programas los ejercicios inestables se realizaban en condiciones estacionarias y a baja velocidad (7), pudiendo no ser específicos en deportes donde el equilibrio dinámico es fundamental, así como los movimientos desarrollados a altas velocidades. Por tanto, un programa de entrenamiento con ejercicios globales en condiciones de inestabilidad a velocidades de ejecución submáximas en diferentes planos de movimiento podría relacionarse con entrenamientos más específicos para determinados deportes donde son fundamentales este tipo de acciones.

Objetivos

Evaluar la fuerza y la capacidad de salto comparando dos programas de entrenamiento.

Un programa con ejercicios tradicionales en tren superior e inferior en condiciones de estabilidad con mancuernas, arras y máquinas de musculación, y otro programa de fuerza en condiciones de inestabilidad con ejercicios globales desarrollados en aparatos específicos generadores de inestabilidad (BOSU® y TRX®).

Analizar si con esta metodología de entrenamiento se producen adaptaciones de fuerza al menos iguales a las que se producirían con un entrenamiento tradicional para poder aplicarlo al rendimiento deportivo.

Material y métodos

Treinta y seis estudiantes de universidad e inexpertos en entrenamientos de fuerza fueron aleatoriamente asignados a dos grupos experimentales y un grupo control (12 hombres: $22,3 \pm 2,4$ años, $75,4 \pm 9,9$ kg, $176,4 \pm 7,1$ cm). El primero de los dos grupos experimentales realizó un programa de entrenamiento con bases inestables y de suspensión (inestables), asignándole la mitad de los sujetos (12 hombres: $21,5 \pm 3,03$ años, $75,7 \pm 9,2$ kg, $177,7 \pm 5,1$ cm). Al segundo grupo se le asignó el resto de sujetos (12 hombres: $21,8 \pm 1,1$ años, $71,8 \pm 6,5$ kg, $178,4 \pm 5,4$ cm), desarrollando un programa de entrenamiento tradicional con pesas, barras con pesas y máquinas de musculación (tradicional).

Las variables medidas antes y después del programa de entrenamiento fueron con el test de salto vertical con contramovimiento (CMJ), registrando la altura de vuelo obtenida en una plataforma de contactor infrarroja (Optojump System, de Microgate S. A. R. L., Bolzano, Italia) y cogiendo la media de los tres saltos como variables para el posterior análisis. Además, se midieron como variables de fuerza la sentadilla (BS) y el *press* de banca (BP) en un protocolo en el que se estimaba la repetición máxima (1 RM) en función de la velocidad de movimiento registrada con un dinamómetro isoinercial T-Force Dynamic Measurement System (de Ergotech, Murcia, España).

Tanto el grupo *inestables* como el *tradicional* realizaron tres sesiones semanales de 75 minutos de duración. Cada sesión de entrenamiento en circuito estaba compuesta de ocho ejercicios ejecutados alternativamente. Para cada ejercicio, los sujetos realizaron durante siete semanas de entrenamiento tres series de 15 repeticiones. Para minimizar la influencia de un posible efecto de aprendizaje en la mejora de la técnica y de la coordinación, se inició un período de familiarización de una semana, con tres sesiones separadas entre sí.

El grupo *inestables* entrenó con dos aparatos que generan inestabilidad (BOSU® Balance TrainerT y TRX® Suspension Training). Los ejercicios realizados en estos aparatos fueron globales, en donde se intercambiaban acciones dinámicas de unas partes corporales con acciones de estabilización en otras; se producían

aceleraciones, estabilizaciones y deceleraciones durante cada ejercicio a velocidades de ejecución submáximas. En el grupo *tradicional* se incluyeron ocho ejercicios de musculación tradicionales con mancuernas, barras y máquinas de musculación similares a los ejercicios del grupo *inestables*.

Para ver el efecto del entrenamiento se aplicaron pruebas de ANOVA con medidas repetidas, con un factor intrasujetos, con la variable "tiempo" en dos niveles (pre y post). En el caso de hallarse diferencias significativas en la interacción ($p < 0,05$), se realizaron pruebas de ANOVA de un factor con Post-Hoc de Tukey para comparar las diferencias entre los tratamientos aplicados (*inestables, tradicional y control*). Todos los datos se expresaron en media (\bar{X}) y desviación estándar (SD). El nivel de significación estadística establecido fue de $p < 0,05$. Para todas las pruebas se usó el programa informático SSPS, versión 17.0 (SPSS, Chicago, III).

Discusión y conclusiones

La capacidad de salto se incrementó un 17,6% en el grupo *inestables* y un 15,2% en el *tradicional*. Además, la fuerza de piernas aumentó un 13% después del entrenamiento en el grupo *inestables* y un 12,6% en el *tradicional*, y la fuerza en el tren superior se incrementó un 6,5% después del entrenamiento en el grupo *inestables* y un 3,93% en el *tradicional*. Por tanto, en ninguna de las variables analizadas se encontraron diferencias entre ambos grupos experimentales, siendo las mejoras producidas similares.

Con todo esto, se concluye que realizar un entrenamiento de siete semanas con dos aparatos que generan inestabilidad puede ser igual de efectivo que un entrenamiento en condiciones de estabilidad para mejorar la capacidad de salto y fuerza en determinadas acciones deportivas. Debido a que el diseño de estos ejercicios con inestabilidad puede asemejarse a diferentes acciones específicas de ciertos deportes, podrían ser apropiados para realizar un entrenamiento específico en el entorno deportivo, pudiendo utilizarse tanto en estadios iniciales de entrenamiento como en momentos cercanos a la competición.

Bibliografía

- TAIPALE, R. S.; MIKKOLA, J.; NUMMELA, A.; VESTERINEN, V., *et al.*, "Strength training in endurance runners". *International Journal of Sports Medicine*, 2010, n.º 31 (7), pp. 468-476.
- ANDERSON K., y BEHM, David G., "The impact of instability resistance training on balance and stability". *Sports Medicine*, 2005, n.º 35 (1), pp. 43-53.
- ANDERSON, K. y BEHM, D. G., "Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability". *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, n.º 18, pp. 637-640.
- MCBRIDE, J. M., CORMIE, P. y DEANE, R., "Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions". *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006, n.º 20 (4), pp. 915-918.
- BEHM, D. G., ANDERSON, K. y CURNEW, R. S., "Muscle force and activation under stable and unstable conditions". *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2002, n.º 16 (3), pp. 416- 422.
- HEITKAMP, H. C.; HORSTMANN, T.; MAYER, F., WELLER, J., y DICKHUTH, H. H., "Gain in strength and muscular balance after balance training". *International Journal of Sports Medicine*, 2001, n.º 22, pp. 285-290.
- KIBELE, A. y BEHM, D. G., "Seven weeks of instability and traditional resistance training effects on strength, balance and functional performance". *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009, n.º 23 (9), pp. 2443-2450.

Medición electromiográfica de la fatiga muscular en atletas de mediofondo con medias de compresión gradual

Diego Moreno Pérez¹, Jonathan Esteve Lanao¹, Joan Válios Blanco¹, Carlos Patón Molina¹, Pedro Marín Cabezuolo²
¹ Laboratorio de entrenamiento deportivo. Universidad Europea de Madrid ² Universidad Europea Miguel de Cervantes

INTRODUCCIÓN

Estudios previos no han hallado diferencias significativas en la economía de carrera y por lo tanto, tampoco en factores metabólicos (Varela et al., 2011), aunque se han sugerido que podrían existir cambios en la activación muscular. Por ello decidimos evaluar el efecto de las medias de compresión gradual sobre supuestos cambios en el reclutamiento muscular.

OBJETIVO

Valorar el efecto del uso de medias de compresión gradual en correlones de mediofondo, basándonos en técnicas de medición por electrocardiografía superficial (sEMG).

MÉTODOS

Sujetos. Completaron el estudio 16 atletas (Edad: 31,4 ± 6,3 años, VO_{2max}: 63,3 ± 5,9 ml/ kg/ min) entrenados en pruebas de mediofondo (20 minutos y 20 segundos en 1500 m). No se hallaron diferencias significativas en las características descriptivas y de rendimiento deportivo (p > 0.05).

Entrenamiento. Evaluamos la fatiga muscular según la activación muscular registrada en los músculos del antebrazo: vasto lateral (VAL), vasto medial (VAM), recto femoral (RF) y bíceps femoral (BF) y de la pierna: gastrocnemio (GAM) y sóleo (SOL) con un sistema telemétrico (BTS-PowerEMG, Gombogiate M.se, Italy).

Inicialmente configuramos la sEMG y se marcó los puntos de ubicación de los electrodos siguiendo las directrices establecidas por el SENIAM en VAL, VAM, RF, BF, SOL y GAM. Los sujetos realizaron un esfuerzo en carrera durante dos días no consecutivos, los cuales fueron divididos de forma aleatoria y se asignaron según su experiencia usando medias compresivas.

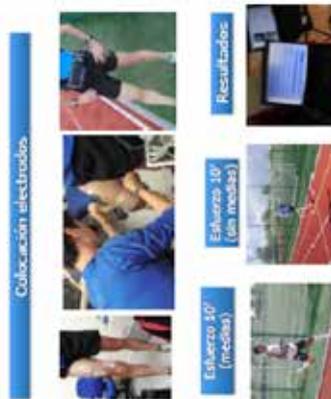
El esfuerzo consistió en recorrer 10 minutos un 3% por encima de su umbral de acumulación de lactato (OBLA) en una pista de atletismo. Previantes a dicho esfuerzo, los sujetos realizaron entre 2 y 4 series de 1050m incrementando la velocidad un 3%, entre series hasta localizar la intensidad a evaluar la fatiga muscular por sEMG.

RESULTADOS

No se hallaron cambios en la activación eléctrica en ninguno de los músculos analizados comparando el uso de medias (CM) o sin medias (SM) (p > 0.05).

Agrupando los intentos en unido (VAL, VAM, BF y RF) y pierna (GAM y SOL) se hallaron cambios descriptivos en el tamaño del efecto (TE) (D de Cohen, 1988) donde la fatiga fue mayor en la pierna (GAM y SOL, d=0,1) respecto al antebrazo (VAL, VAM, BF y RF, d=0,24) usando medias, respecto al no uso de medias; antebrazo (d=0,25) y pierna (0,25).

Figura 1: Protocolo de test.



En la misma línea que estudios previos (Varela et al., 2011) pensamos que quizás exista una respuesta individual en el uso de las medias de compresión gradual al no encontrar resultados significativos por la alta derivación típica. Podría ocurrir por factores como: técnica de carrera, fuerza específica de cada músculo o experiencia en el uso de estos calzetines.

Figura 2: Tamaño del efecto por grupo muscular (CM & SM).

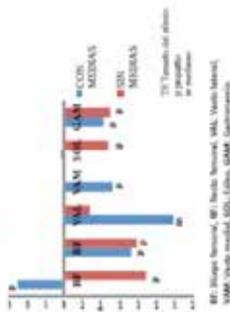
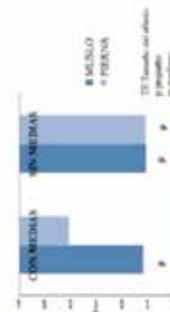


Figura 3: Tamaño del efecto intajo y pierna (CM & SM).



REFERENCIAS

Varela, A., Becerra, D., Esteva, J. (2011). Effects of gradual-elastic compression stockings on running economy, kinematics and performance in runners. *J Strength Cond Med*; 10: 290-298.

CONSEJO PARA CORRESPONDENCIA

Jonathan Esteve-Lanao
 Universidad Europea de Madrid, Facultad CC Ad y Deporte, Laboratorio de Entrenamiento Deportivo.
 C/Trío s/n. 28670 Madrid, España
 E-mail: jonathan.esteve@uea.es
 Tlfno: 91.2115500 - ext 3013

Figura 70: Póster n.º 6. Medición electromiográfica de la fatiga muscular en atletas de mediofondo con medias de compresión gradual. Diego Moreno Pérez, Jonathan Esteve Lanao, Joan Válios Blanco, Carlos Patón Molina y Pedro Marín Cabezuolo.

MEDICIÓN ELECTROMIOGRÁFICA DE LA FATIGA MUSCULAR EN ATLETAS DE MEDIOFONDO CON MEDIAS DE COMPRESIÓN GRADUAL (figura 70)

Diego Moreno Pérez,¹ Jonathan Esteve Lanao,¹ Joan Vàlios Blanco,¹
Carlos Patón Molina,¹ Pedro Marín Cabezuolo¹

¹ Laboratorio de Entrenamiento Deportivo, Universidad Europea de Madrid

² Universidad Europea Miguel de Cervantes

Introducción

Estudios previos no han hallado diferencias significativas en la economía de carrera y, por lo tanto, tampoco en factores metabólicos (Varela *et al.*, 2011), aunque se han sugerido que podrían existir cambios en la activación muscular. Por ello, decidimos evaluar el efecto de las medias de compresión gradual sobre supuestos cambios en el reclutamiento muscular.

Objetivo

Valorar el efecto del uso de medias de compresión gradual en corredores de mediofondo, basándonos en técnicas de medición por electromiografía superficial (sEMG).

Métodos

Sujetos

Completaron el estudio 16 atletas (edad: $33,4 \pm 6,3$ años, $VO_2\text{max}$: $63,2 \pm 5,9$ ml/kg/min) entrenados en pruebas de mediofondo (20 minutos y 20 segundos en 1.500 ml). No se hallaron diferencias significativas en las características descriptivas y de rendimiento deportivo ($p < 0.05$)

Entrenamiento

Evaluamos la fatiga muscular según la activación muscular registrada en los músculos del muslo –vasto lateral (VAL), vasto medial (VAM), recto femoral (RF) y bíceps femoral (BF)– y de la pierna –gastrocnemio (GAM) y soleo (SOL)– con un sistema telemétrico (BTS Pocket EMG, de Garbagnate M. SE, Italia).

Inicialmente, configuramos la sEMG y se marcaron los puntos de ubicación de los electrodos siguiendo las directrices establecidas por el SENIAM en VAL, VAM, RF, BF, SOL y GAM.

Posteriormente, los sujetos realizaron un esfuerzo en carrera durante dos días no consecutivos, los cuales fueron divididos de forma aleatoria y se asignaron

según su experiencia usando medias compresivas. El esfuerzo consistió en recorrer 10 minutos un 3% por encima de su umbral de acumulación de lactato (OBLA) en una pista de atletismo. Previamente a dicho esfuerzo, los sujetos realizaron entre 2 y 4 series de 1.050 m incrementando la velocidad un 3% entre series hasta localizar la intensidad a evaluar la fatiga muscular por sEMG.

Resultados

No se hallaron cambios en la activación eléctrica en ninguno de los músculos analizados comparando el uso de medias (CM) o sin medias (SM) ($p > 0.05$). Agrupando los músculos en muslo (VAL, VAM, BF y RF) y pierna (GAM y SOL), se hallaron cambios descriptivos en el tamaño del efecto (TE) (Cohen, 1988) donde la fatiga fue menor en la pierna (GAM y SOL, $d=0,1$) respecto al muslo (VAL, VAM, BF y RF, $d=0,24$) usando medias respecto al no uso de medias (muslo: $d=0,25$; pierna: $0,25$).

Discusión

A pesar de no encontrar resultados significativos, se hallaron cambios en el TE. Observamos que en esfuerzos *supraobla*, la fatiga en los músculos de la pierna (gastrocnemio y soleo) es menor. Esto tendría ventajas para el rendimiento por cuanto suele ser habitual que la fatiga de los gemelos limiten más el rendimiento que los músculos del muslo.

En la misma línea que estudios previos (Varela *et al.*, 2011), pensamos que quizás exista una respuesta individual en el uso de las medias de compresión gradual al no encontrar resultados significativos por la alta desviación típica. Podría ocurrir por factores como la técnica de carrera, la fuerza específica de cada músculo o la experiencia en el uso de estos calcetines.

Referencias

VARELA, A., BOULLOSA, D. y ESTEVE, J., "Effects of gradual-elastic compression stockings on running economy, kinematics and performance in runners". *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, n.º 10, pp. 2902-2910.

Contacto

Jonathan Esteve-Lanao

Laboratorio de Entrenamiento Deportivo, Facultad de CC. Af. y Deporte,
Universidad Europea de Madrid

C/Tajo s/n, 28670 - Madrid, España

Email: jonathan.esteve@uem.es

Tfno: 91 2115500 (ext 3013)

MINISTERIO DE DEFENSA

HOSPITAL CENTRAL DE LA DEFENSA "GÓMEZ ULLA"

COLITIS ISQUÉMICA TRAS EJERCICIO FÍSICO EXTENUANTE

NZ Rosado-Dáwid; ME Portales Núñez; JL Vázquez Guerrero; JM Torres León; C Jiménez Pérez; A Ramos Meca; MA García Mayor; MA Martín Matas; J Torres Salcines; M Rodríguez Cruz; C Madrona Pérez; S de la Torre Gutiérrez.
Servicio de Aparato Digestivo. Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla (Madrid).

INTRODUCCIÓN.

El ejercicio físico es beneficioso para el tracto digestivo pero puede producir efectos adversos sobre él, especialmente en corredores de larga distancia y triatletas. Hasta un 50% de estos atletas, y con mayor incidencia en el sexo femenino, pueden padecer síntomas relacionados con el esfuerzo. El sufrimiento digestivo aumenta cuando la práctica deportiva se realiza en días de calor, sin entrenamiento previo y con una pobre hidratación. Los síntomas suelen ser transitorios y variables: náuseas, vómitos, pirosis, diarrea y sangrado gastrointestinal.

CASO CLÍNICO.

Varón de 26 años, sano, sin hábitos tóxicos ni consumo de fármacos que se encontraba destacado en el extranjero en misión militar. Presenta dolor abdominal brusco e intenso tipo "retortijón" seguido de vómitos, sudoración y emisión de sangre roja con coágulos por el ano. El paciente refería haber realizado durante las horas centrales del día, a alta temperatura ambiente (en el mes de julio), una sesión de entrenamiento consistente en 20 minutos de musculación y carrera continua de 2 horas. El entrenamiento comenzó inmediatamente después de una ingesta copiosa de alimento. Fue trasladado a un hospital local y ante la mala evolución, con empeoramiento del paciente, fue evacuado a nuestro centro a las 48h de inicio del cuadro. Se realizaron analíticas de sangre y orina, TAC abdominal y colonoscopia urgente.

- TAC ABDOMINAL: marcada dilatación del colon con engrosamiento difuso de la pared, afectación de grasa pericólica, gran cantidad de líquido libre intraabdominal y múltiples ganglios mesentéricos <1cm. Se descartaron la presencia de perforación y de defectos de repleción a nivel arterial (figura 1).
- COLONOSCOPIA URGENTE: no se realiza la exploración completa debido al alto riesgo de perforación. El diagnóstico endoscópico fue de colitis isquémica extensa, confirmada posteriormente con los resultados anatomopatológicos.

El enfermo evolucionó favorablemente con tratamiento conservador (dieta absoluta, nutrición parenteral, antibioterapia intravenosa, analgesia y corticoterapia a dosis bajas). No precisó transfusión. No se evidenciaron alteraciones vasculares en angio-TAC, alteraciones inmunológicas, de hipercoagulabilidad, patología infecciosa ni focos trombóticos. Fue dado de alta asintomático a los 29 días de ingreso. Se realizó una nueva colonoscopia a las 6 semanas del alta, que constató restitución completa de la mucosa. Tras descartar otra etiología, el diagnóstico se estableció en un secuestro vascular producido por el aumento de las demandas sanguíneas por el ejercicio intenso en un día caluroso, en un paciente con la gran parte de su gasto cardiaco en el territorio mesentérico.




DISCUSIÓN.

La colitis isquémica es consecuencia de la pérdida transitoria del flujo vascular suficiente para responder a las necesidades metabólicas del colon. Es muy infrecuente en menores de 60 años y casi anecdótica en pacientes jóvenes, más aun en ausencia de factores de riesgo (hipertensión, diabetes, arteriopatía, consumo de cocaína o metanefrinas, estrógenos, psicotropos, hipercoagulabilidad, drepanocitosis...). La práctica de ejercicio intenso supone una situación de estrés para el tubo digestivo y la presencia de sangre oculta en heces es un hecho habitual en atletas tras la realización de una prueba de resistencia. Generalmente la colitis isquémica tras el ejercicio es reversible y pasa desapercibida, pero puede ser grave y poner en peligro la vida del enfermo. El caso que presentamos manifiesta la necesidad de incluir en el diagnóstico diferencial la colitis isquémica como causa de rectorragia aun en pacientes jóvenes. Entre los militares, el propio combate es señalado por algunos autores como un factor de riesgo para la aparición de colitis isquémica post-esfuerzo.

BIBLIOGRAFÍA: 1) Blair SN, Jackson AS. Physical fitness and activity as separate heart risk factors: a metaanalysis. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:902-4. 2) Okunaka ET, Surin BC. The impact of physical exercise on the gastrointestinal tract. *Curr Opin Nutr Metab Care* 2005;12:533-6. 3) Peters HJ, et al. Potential benefits and risks of physical activity and exercise on the gastrointestinal tract. *Gut* 2001;40:635-6. 4) Moore PM. The effect of exercise on the gastrointestinal tract. *Sports Med* 1993;159-72. 5) Peters HJ, et al. Gastrointestinal symptoms during long-distance walking. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:767-73. 6) Gattner ML, Reed AZ. Effects of exercise on mesenteric blood flow in man. *Gut* 1987;28:536-9. 7) Casey E, Mistry D, MacIntyre JM. Training room Management in medical conditions: sports gastroenterology. *Clin Sports Med* 2005;23:33-40. 8) Van Schaunhoven MA, Bruns T, Brunner H. Gastrointestinal profile of asymptomatic athletes at rest and during physical exercise. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:423-434. 9) Schwartz AE, Vergara J, Kama P. Endoscopy to evaluate gastrointestinal bleeding in marathon runners. *Ann Intern Med* 1990;113:632-3. 10) Swain BT, Rendler DA. Ischemic colitis: a clinical review. *South Med J* 2005;98:217-22. 11) Theodoropoulos A, Kouroukaki E. Ischemic colitis: Clinical practice in diagnosis and treatment. *World J Gastroenterol* 2008;14(48):7302-6. 12) Moore PM. Exercise associated intestinal ischemia. *Curr Sports Med Res* 2005;4(2):93-5. 13) Cohen D, et al. Marathon-induced ischemic colitis: why running is not always for you. *Am J Emerg Med* 2008;27:235.e5-7. 14) Sanchez LD, Corwell S, Berloff D. Medical problems of marathon runners. *Am J Emerg Med* 2006;24:608-15.

Figura 71: Póster n.º 7 Colitis isquémica tras ejercicio físico extenuante. N. Z. Rosado-Dáwid; M. E. Portales Núñez; J. L. Vázquez Guerrero; J. M. Torres León; C. Jiménez Pérez; A. Ramos Meca; M. A. García Mayor; M. A. Martín Matas; J. Torres Salcines; M. Rodríguez Cruz; C. Madrona Pérez; S. de la Torre Gutiérrez.

COLITIS ISQUÉMICA TRAS EJERCICIO FÍSICO EXTENUANTE (FIGURA 71)

N. Z. Rosado-Dáwid; M. E. Portales Núñez; J. L. Vázquez Guerrero; J. M. Torres León; C. Jiménez Pérez; A. Ramos Meca; M. A. García Mayor; M. A. Martín Matas; J. Torres Salcines; M. Rodríguez Cruz; C. Madrona Pérez; S. de la Torre Gutiérrez

Servicio de Aparato Digestivo, Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla (Madrid)

Introducción

El ejercicio físico es beneficioso para el tracto digestivo pero puede producir efectos adversos sobre él, especialmente en corredores de larga distancia y triatletas. Hasta un 50% de estos atletas, y con mayor incidencia en el sexo femenino, pueden padecer síntomas relacionados con el esfuerzo. El sufrimiento digestivo aumenta cuando la práctica deportiva se realiza en días de calor, sin entrenamiento previo y con una pobre hidratación; los síntomas suelen ser transitorios y variables: náuseas, vómitos, pirosis, diarrea y sangrado gastrointestinal.

Caso clínico

Varón de 26 años, sano, sin hábitos tóxicos ni consumo de fármacos que se encontraba destacado en el extranjero en misión militar. Presenta dolor abdominal brusco e intenso tipo “retortijón” seguido de vómitos, sudoración y emisión de sangre roja con coágulos por el ano. El paciente refería haber realizado durante las horas centrales del día, a alta temperatura ambiente (en el mes de julio), una sesión de entrenamiento consistente en 20 minutos de musculación y carrera continua de dos horas. El entrenamiento comenzó inmediatamente después de una ingesta copiosa de alimento. Fue trasladado a un hospital local y ante la mala evolución, con empeoramiento del paciente, fue evacuado a nuestro centro a las 48 horas de inicio del cuadro. Se realizaron analíticas de sangre y orina, TAC abdominal y colonoscopia urgente.

- *TAC abdominal*: Marcada dilatación del colon con engrosamiento difuso de la pared, afectación de grasa pericólica, gran cantidad de líquido libre intraabdominal y múltiples ganglios mesentéricos <1 cm. Se descartaron la presencia de perforación y de defectos de repleción a nivel arterial (figura 1).
- *Colonoscopia urgente*: No se realiza la exploración completa debido al alto riesgo de perforación. El diagnóstico endoscópico fue de colitis isquémica extensa, confirmada posteriormente con los resultados anatomopatológicos.

El enfermo evolucionó favorablemente con tratamiento conservador (dieta absoluta, nutrición parenteral, antibioterapia intravenosa, analgesia y corticoterapia a dosis bajas). No precisó transfusión. No se evidenciaron alteraciones

vasculares en angio-TAC, alteraciones inmunológicas, de hipercoagulabilidad, patología infecciosa ni focos trombóticos. Fue dado de alta asintomático a los 29 días de ingreso. Se realizó una nueva colonoscopia a las seis semanas del alta, que constató la restitución completa de la mucosa.

Tras descartar otra etiología, el diagnóstico se estableció en un secuestro vascular producido por el aumento de las demandas sanguíneas por el ejercicio intenso en un día caluroso en un paciente con la gran parte de su gasto cardiaco en el territorio mesentérico.

Discusión

La colitis isquémica es consecuencia de la pérdida transitoria del flujo vascular suficiente para responder a las necesidades metabólicas del colon. Es muy infrecuente en menores de 60 años y casi anecdótica en pacientes jóvenes, más aun en ausencia de factores de riesgo (hipertensión, diabetes, arteriopatía, consumo de cocaína o metanefrinas, estrógenos, psicotropos, hipercoagulabilidad, drepanocitosis...). La práctica de ejercicio intenso supone una situación de estrés para el tubo digestivo y la presencia de sangre oculta en heces es un hecho habitual en atletas tras la realización de una prueba de resistencia. Generalmente, la colitis isquémica tras el ejercicio es reversible y pasa desapercibida, pero puede ser grave y poner en peligro la vida del enfermo.

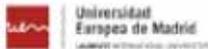
El caso que presentamos manifiesta la necesidad de incluir en el diagnóstico diferencial la colitis isquémica como causa de rectorragia aun en pacientes jóvenes. Entre los militares, el propio combate es señalado por algunos autores como un factor de riesgo para la aparición de colitis isquémica posesfuerzo.

Bibliografía

- BLAIR, S. N. y JACKSON, A. S., "Physical fitness and activity as separate heart risk factors: a metaanalysis". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2001, n.º 33, pp. 762-764.
- CASEY, E., MISTRY, D. J. y MACKNIGHT, J. M., "Training room management on medical conditions: sports gastroenterology". *Clinical Journal of Sports Medicine*, 2005, pp. 525-540.
- COHEN, D. et al., "Marathon-induced ischemic colitis: why running is not always for you". *American Journal of Emergency Medicine*, 2009, n.º 27, pp. 255.e.5-7.
- GREEN, B. T. y RENDLER, D. A., "Ischemic colitis: a clinical review". *Southern Medical Journal*, 2005, n.º 98, pp. 217-222.
- MOSES, F. M., "Exercise associated intestinal ischemia". *Current Sports Medicine Reports*, 2005, n.º 4 (2), pp. 91-95.
- MOSES, F. M., "The effect of exercise on the gastrointestinal tract". *Sports Medicine*, 190, n.º 9, pp. 159-172.
- OLIVEIRA, E. P. y BURINI, R. C., "The impact of physical exercise on the gastrointestinal tract". *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2009, n.º 12, pp. 533-538.
- PETERS, H. P. et al., "Gastrointestinal symptoms during long-distance walking". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1999, n.º 31, pp. 767-773.
- PETERS, H. P. et al., "Potential benefits and azards of physical activity and exercise on the gastrointestinal tract". *Gut*, 2001, n.º 48, pp. 435-439.
- QAMAR, M. L. y READ, A. E., "Effects of exercise on mesenterio blood flow in man". *Gut*, 1987, n.º 28, pp. 896-899.
- SÁNCHEZ, L. D., CORWELL, B. y BERKOFF, D., "Medical problems of marathon runners". *American Journal of Emergency Medicine*, 2006, n.º 24, pp. 608-615.
- SCHWARTZ, A. E., VANAGUNAS, A. y KAMEL, P. L., "Endoscopy to evaluate gastrointestinal bleeding in maraton runners". *Annals of Internal Medicine*, 1990, n.º 113, pp. 632-633.
- THEODOROPOULOU, A. y KOUTROIUBAKIS, I. E., "Ischemic colitis: clinical practise in diagnosis and treatment". *World Journal of Gastroenterology*, 2008, n.º 14 (48), pp. 7302-7308.
- VAN NIEUWNHOVEN, M. A., BROUNS, F. y BRUMMER, R. J., "Gastrointestinal profile of symptomatic atheletes at rest and during physical exercise". *European Journal of Applied Physiology*, 2004, n.º 91, pp. 429-434.

EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO EN NIÑOS CON FIBROSIS QUÍSTICA

Santana Sosa E.*; González Saiz L.*; Fiuza C.*; Villa J.R.**; González M.**; Barrio Gómez de Agüero M.I.**; López Mojares L.M.*; Lucía A.*; Gómez F.; Pérez Ruiz M.*



*Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Universidad Europea de Madrid, Madrid, España.

**Hospital Infantil Universitario Niño Jesús de Madrid, España.

***Hospital Universitario La Paz de Madrid, España.



INTRODUCCIÓN

La Fibrosis quística (FQ) es la enfermedad hereditaria más común entre los niños de raza caucásica, con una gran variabilidad en la evolución entre países y áreas. Se caracteriza por un síndrome pulmonar que resulta de la presencia de grandes cantidades de moco espeso en las vías respiratorias inferiores (RPI). La FQ también afecta al tracto digestivo, al tracto reproductivo y al tracto biliar. La esperanza de vida es limitada, con una mediana de supervivencia que oscila entre los 30 y los 40 años (1). El diagnóstico se realiza mediante pruebas genéticas y/o mediante la medición de la conductividad de la sudoración (2). La FQ afecta a todos los países, pero con mayor prevalencia en Europa Occidental y Norteamérica (3). La FQ es una enfermedad crónica que requiere un tratamiento multidisciplinario que afecta a los aspectos médicos, educativos y deportivos, siendo la rehabilitación pulmonar la principal causa de morbilidad y mortalidad (4). En el 2012, España se clasificó como el tercer país con mayor prevalencia de FQ en Europa Occidental y Norteamérica (5). En España, la prevalencia de FQ es de 1:2.500 recién nacidos vivos (6). La FQ es una enfermedad crónica que requiere un tratamiento multidisciplinario que afecta a los aspectos médicos, educativos y deportivos, siendo la rehabilitación pulmonar la principal causa de morbilidad y mortalidad (4). En el 2012, España se clasificó como el tercer país con mayor prevalencia de FQ en Europa Occidental y Norteamérica (5). En España, la prevalencia de FQ es de 1:2.500 recién nacidos vivos (6).

Figura 1. Principales síntomas de la FQ y consecuencias sobre la capacidad funcional de estos niños.



OBJETIVOS

Determinar el efecto de un entrenamiento intervencional de entrenamiento físico (entrenamiento físico y rehabilitación respiratoria) en la capacidad física, y sobre el estado del sistema de regulación por FQ (genética) y de la Fibrosis quística (rehabilitación pulmonar) en niños con FQ.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño

Este estudio es un ensayo de intervención con un grupo control y un grupo de intervención. El estudio se realizó en el Hospital Infantil Universitario Niño Jesús de Madrid (España) y en el Hospital Universitario La Paz (España). El estudio se realizó en el Hospital Infantil Universitario Niño Jesús de Madrid (España) y en el Hospital Universitario La Paz (España). El estudio se realizó en el Hospital Infantil Universitario Niño Jesús de Madrid (España) y en el Hospital Universitario La Paz (España).

Tabla 1. Características demográficas del grupo.

Variable	Entrenamiento FQ			Control			p
	N	Media (SD)	Rango	N	Media (SD)	Rango	
Edad (años)	10	10,5 (1,2)	9-12	10	10,5 (1,2)	9-12	0,95
Sexo	5	5 (50%)	5	5	5 (50%)	5	0,95
Altura (cm)	140	140 (10)	130-150	140	140 (10)	130-150	0,95
Peso (kg)	30	30 (5)	25-35	30	30 (5)	25-35	0,95
FEV1 (L)	1,5	1,5 (0,2)	1,2-1,8	1,5	1,5 (0,2)	1,2-1,8	0,95

Materiales

La capacidad funcional (CF) se midió con el sistema de gases (COSYNTAC 2000R, MedGraphics) (Figura 2) y conectada con el protocolo (Cámara Total general cámara cámara).

Figura 2. Prueba de esfuerzo.



El efecto se midió en la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS) y se midió con el cuestionario de calidad de vida (CVRS) (Figura 3).

El estudio se realizó en la Unidad de Neumología del Hospital, con la colaboración de la Unidad de Rehabilitación Física y la Unidad de Rehabilitación Respiratoria. El estudio se realizó en la Unidad de Neumología del Hospital, con la colaboración de la Unidad de Rehabilitación Física y la Unidad de Rehabilitación Respiratoria.

Figura 3. Protocolo de intervención de la rehabilitación física.

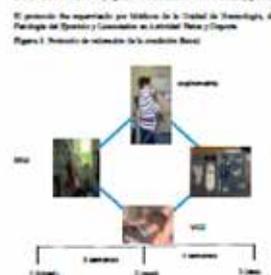


Figura 4. Diseño del programa de entrenamiento.



Análisis Estadístico

Los resultados se expresan como media y desviación estándar (DE) (Mediana y Rango) para las variables cuantitativas y como número de sujetos para las variables cualitativas. Se utilizó el test de Mann-Whitney para comparar los datos de los grupos de intervención y control. Para analizar el efecto del entrenamiento en el grupo experimental se utilizó el test de Wilcoxon (10). El nivel de significación estadística se estableció en p < 0,05.

Resultados

El FQ es una enfermedad crónica que requiere un tratamiento multidisciplinario que afecta a los aspectos médicos, educativos y deportivos, siendo la rehabilitación pulmonar la principal causa de morbilidad y mortalidad (4). En el 2012, España se clasificó como el tercer país con mayor prevalencia de FQ en Europa Occidental y Norteamérica (5). En España, la prevalencia de FQ es de 1:2.500 recién nacidos vivos (6).

Variable	Pre	Post	Pre	Post	p	F
VO2max (L/min)	1,5	1,8	1,5	1,5	0,05	1,5
VO2max (ml/kg/min)	30	35	30	30	0,05	30
VO2max (ml/min)	150	180	150	150	0,05	150

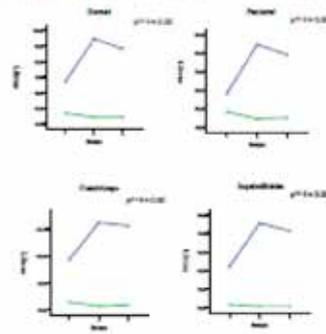


Figura 5. Efecto de la intervención sobre la capacidad funcional pulmonar y cardiovascular en los niños con FQ.

Figura 6. Efecto de la intervención sobre la capacidad funcional neuromuscular en los niños con FQ.

Figura 7. Efecto de la intervención sobre la capacidad funcional psicológica en los niños con FQ.

Figura 8. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 9. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 10. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 11. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 12. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 13. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 14. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 15. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 16. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 17. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 18. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 19. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 20. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 21. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 22. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 23. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 24. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 25. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 26. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 27. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 28. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 29. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 30. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 31. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 32. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 33. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 34. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 35. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 36. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 37. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 38. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 39. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 40. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 41. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 42. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 43. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 44. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 45. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 46. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 47. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 48. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 49. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 50. Efecto de la intervención sobre la calidad de vida relacionada con la salud en los niños con FQ.

Figura 72: Póster n.º 8. Efectos de un programa de entrenamiento en niños con fibrosis quística. Santana Sosa, E.; González Saiz, L.; Fiuza, C.; Villa, J. R.; González, M.; Barrio Gómez de Agüero, M. I., López-Mojares, L. M.; Lucía, A.; Gómez, F., y Pérez Ruiz, M.

EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO EN NIÑOS CON FIBROSIS QUÍSTICA (FIGURA 72)

E. Santana Sosa¹; L. González Saiz¹; C. Fiuza¹; J. R. Villa²; M. González M.²; M. I. Barrio Gómez de Agüero³, L. M. López-Mojares¹; A. Lucía¹; F. Gómez, y M. Pérez Ruiz¹

¹Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Universidad Europea de Madrid, Madrid, España

²Hospital Infantil Universitario Niño Jesús de Madrid, España

³Hospital Universitario La Paz de Madrid, España

Introducción

La fibrosis quística (FQ) es la enfermedad hereditaria autosómica recesiva grave más frecuente en la raza caucásica, con una gran variabilidad en la incidencia entre países y razas. Es causada por un defecto genético que regula la formación de la proteína reguladora transmembrana de la fibrosis quística (*cystic fibrosis transmembrane regulator*, CFTR) codificada en el brazo largo del cromosoma 7 que actúa como reguladora de diversos canales iónicos.

Se caracteriza por ser un trastorno multisistémico que afecta a los aparatos respiratorio, digestivo y reproductor, siendo la enfermedad pulmonar la principal causa de morbilidad y mortalidad (Máiz *et al.*, 2001). Debido a estos problemas, los pacientes con FQ presentan limitaciones al ejercicio y la intolerancia al mismo depende de la progresión de la enfermedad, la cual está en relación con la tasa de declinación de la función pulmonar, la función de los músculos esqueléticos, el estatus nutricional y la capacidad del sistema cardiorrespiratorio para enfrentarse al estrés metabólico que supone el ejercicio (Klijn *et al.*, 2003) (figura 1).

Sin embargo, el papel que juega el ejercicio físico en la FQ ha sido reconocido durante décadas (Godfrey y Mearns, 1971). Varios estudios a corto plazo han puesto de manifiesto los beneficios del ejercicio en términos de mejora de la capacidad cardiorrespiratoria (Orenstein, 1981), aumento de la tolerancia del ejercicio (Salh, 1989, y Edlund, 1986), disminución de la disnea (O'Neill, 1987), mejora de la fuerza y resistencia en los músculos respiratorios (Keens, 1977, y Asher, 1982), mejora en las actividades de la vida diaria (de Jong W, 1994) y mejora en la calidad de vida y los aspectos psicosociales (Orensteins, 1989) y morales (Edlund, 1986), por lo que se ha incluido como parte del tratamiento estándar (Anne Mette, 2010).

Objetivo

Determinar el efecto de una intervención intrahospitalaria de entrenamiento físico (cardiovascular, fuerza y músculos inspiratorios) en la condición física a través del análisis del consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}) y de la fuerza mus-

cular e inspiratoria en pacientes que padecen fibrosis quística de afectación pulmonar leve-moderada.

Material

La capacidad funcional (VO_2) fue valorada con el analizador de gases Ultima Series, de Medgraphics (figura 2) y controlada con el pulxiosímetro Oohmeda Trusat, de la General Electric Company. Para los test de fuerza y los entrenamientos, se utilizaron máquinas pediátricas Strive (EE. UU.). La fuerza de los músculos inspiratorios se valoró midiendo la presión ejercida por los músculos inspiratorios (PIM), y el entrenamiento de dichos músculos se llevó a cabo con los aparatos Power Bresthe, “estado físico”.

Método

El niño es citado en la unidad de neumología del hospital; tras hacer una espirometría y recibir el visto bueno del neumólogo, pasa al Laboratorio de Fisiología del Ejercicio.

La primera valoración es la de los músculos inspiratorios. De pie, con una pinza en la nariz, el niño exhala todo el aire que puede e inhala a través del PIM. Se repite dos veces, descansando un minuto entre ambas medidas, y se elige la mejor.

A continuación, se realiza la valoración de la capacidad funcional, que consiste en una ergoespirometría sobre tapiz rodante con un protocolo incremental en rampa. La prueba se controla con registro de ECG y con un pulxiosímetro, siendo motivo de parada de prueba que la saturación baje a 87%. Finalmente, se realizan los test de fuerza 5RM en las máquinas dorsal, pectoral, isquiotibiales y cuádriceps (figura 3). Todas las valoraciones se realizaron en tres periodos (1-2-3) coincidentes con los periodos inicial, posentrenamiento y desentrenamiento, con el fin de detectar el mantenimiento o no de las mejoras obtenidas. El tiempo transcurrido para realizar la valoración post en el grupo control y de entrenamiento fue de ocho semanas.

Con los datos obtenidos, se programa un entrenamiento de ocho semanas (figura 4).

El protocolo fue supervisado por médicos de la unidad de Neumología y de la unidad de Fisiología del Ejercicio y por licenciados en Actividad Física y Deporte.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados a través del paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences, versión 19.0, de SPSS Inc., Chicago,

IL, EE. UU.). La T de *student* fue utilizada para analizar la homogeneidad de los grupos experimentales y control. Para analizar el efecto del ejercicio en el grupo experimental comparado con el control, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas, con la variable de agrupación "grupo" y el factor "tiempo". El valor de significación estadística usado fue $p < 0,05$.

Resultados

El VO_2 pico no obtuvo diferencias significativas respecto al grupo control en aquellos niños sometidos al entrenamiento (p tiempo x grupo = 0,423) (figura 5). Se encontraron mejoras en la fuerza en todos los músculos esqueléticos e inspiratorios analizados, tal y como se puede observar en la figura 6.

Discusión y conclusiones

De los resultados que se exponen en este trabajo, destaca que el valor medio de VO_2 pico de niños con FQ (entrenados y controles) está claramente por debajo de los límites (45 ml O_2 /kg/min) que se consideran indicadores de una excelente supervivencia y buen pronóstico en pacientes con FQ de menos de 35 años, que es la supervivencia cercana al 100% transcurridos ocho años desde la medición de esta variable (Nixon *et al.*, 1992).

Estos resultados refuerzan una vez más la idea de que los niños con FQ deben aumentar sus niveles de actividad física drásticamente, pues es el único modo conocido de aumentar un indicador de supervivencia tan importante como es el VO_2 pico.

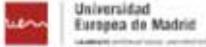
Aunque con los datos de este estudio el VO_2 pico de los niños no mejoraba significativamente tras el entrenamiento, los resultados obtenidos en los test de fuerza muscular son muy esperanzadores pues muestran una mejora significativa en la fuerza muscular de los niños con FQ que entrenaron.

Estos resultados son clínicamente relevantes pues el deterioro del sistema pulmonar en estos enfermos puede conducir a la hipoxia de los tejidos periféricos, incluyendo el tejido músculoesquelético, que se debilita desde la infancia (De Meer *et al.*, 1999).

Bibliografía

- GODFREY, S. y MEARNS, M., "Pulmonary function and response to exercise in cystic fibrosis". *Arch Dis Child*, 1971, n.º 46, pp. 144-151.
- KLIJN, P. H.; VAN DER NET, J.; KIMPEN, J. L.; HELDERS, P. J., y VAN DER ENT, C. K., "Longitudinal determinants of peak aerobic performance in children with cystic fibrosis". *Chest*, 2003, n.º 124, pp. 2215-2219.
- MÁIZ, L.; BARANDA, F.; COLL, R.; PRADOS, C.; VENDRELL, M.; ESCRIBANO, A.; GARTNER, S.; DE GRACIA, S.; MARTÍNEZ, M.; SALCEDO, A., y VÁZQUEZ C., "Normativa del diagnóstico y el tratamiento de la afección respiratoria en la fibrosis quística". *Archivos de Bronconeumología*, 2001, n.º 37, pp. 316-324.
- NIXON, P. A.; ORENSTEIN, D. M.; KELSEY, S. F., y DOERSHUK, C. F., "The prognostic value of exercise testing in patients with cystic fibrosis". *New England Journal of Medicine*, 1992, n.º 327, pp. 1785-1788.
- DE MEER, K., GULMANS, V. A. y VAN DER LAAG, J., "Peripheral muscle weakness and exercise capacity in children with cystic fibrosis". *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, n.º 159 (3), marzo de 1999, pp. 748-54.
- ORENSTEIN, D. M.; FRANKLIN, B. A.; DOERSHUK, C. F.; HELLERSTEIN, H. K.; GERMANN, K. J.; HOROWITZ, J. G. y STERN. "Exercise conditioning and cardiopulmonary fitness in cystic fibrosis. The effects of a three-month supervised running program". *Chest*, 1981, n.º 80, pp. 392-398.
- ORENSTEIN, D. M., NIXON, P. A., ROSS, E. A. y KAPLAN, R. M., "The quality of well-being in cystic fibrosis". *Chest*, 1989, n.º 95, pp. 344-347.
- DE JONG, W.; GREVINK, R. G.; ROORDA, R. J.; KAPTEIN, A. A. y VAN DER SCHANS, C. P., "Effect of a home exercise training program in patients with cystic fibrosis". *Chest*, 1994, n.º 105, pp. 463-468.
- SCHMIDT, Anne Mette; JACOBSEN, Ulla; BREGNBALLE, Vibeke; OLESEN, Hanne Vebert, et al., *Exercise and quality of life in patients with cystic fibrosis: A 12-week intervention study*.

La capacidad funcional en un grupo de niños con fibrosis quística comparado con un grupo de niños sanos



Lucas Serna¹, Elena Santana¹, Laura González¹, José Méndez², Alberto González³, Gabriel Rodríguez Romo², Luis Miguel López Mojares², Carmen Fiuza², José Ramón Villa⁴, Alejandro Lucía¹, Margarita Pérez Ruiz¹

¹ Universidad Europea de Madrid, ² Universidad Politécnica de Madrid, ³ Colegio Zuloaga, ⁴ Hospital Niño Jesús

RESUMEN

Los niños de fibrosis quística (FQ) presentan limitaciones al ejercicio. Dichas limitaciones dependen de la progresión de la enfermedad, que a su vez se relaciona con la tasa de deterioro de la función pulmonar, la función de los músculos respiratorios, el estado nutricional, así como la capacidad de adaptación fisiológica para enfrentar el estrés metabólico que supone el ejercicio (Pitt P et al, 2010). La capacidad funcional medida como consumo de oxígeno ($\dot{V}O_{2max}$) es un indicador de la salud de la población. Además resulta ser un factor predictivo de supervivencia en los niños con fibrosis quística (Pitt P et al, 2010) siendo que los niños con un consumo de oxígeno por debajo de 20ml/kg/min, sufren un aumento de la mortalidad hasta a los niños que tienen un consumo de oxígeno por encima de 20ml/kg/min. Dado el impacto de esta variable para predecir la tasa y evolución de la progresión de un estado diagnóstico de un grupo poblacional amplio de niños y adolescentes con un síndrome de fibrosis quística.

OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad funcional de un grupo de niños sanos de Madrid dentro de una muestra de niños con fibrosis quística.

MÉTODOS

Participaron 110 niños sanos y 77 niños con fibrosis quística (edad promedio 10 años). Los niños sanos fueron reclutados en el servicio de radiología del Hospital Niño Jesús y los niños con fibrosis quística en la unidad de diagnóstico de ejercicio de la Universidad Europea de Madrid. En la Tabla 1, se muestran los datos de los niños.

	GRUPO FQ		GRUPO SANOS		P
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar	
Edad	10	±1,2	10,7	±1,5	100
Talla (cm)	137,1	±10,5	139,5	±10,7	100
Peso (kg)	34	±10,7	36,0	±11,9	100
IMC	17,1	±2,9	18,0	±3,0	100

Tabla 1.

Todos los participantes realizaron una prueba de esfuerzo en una cámara hipométrica (Cortina Ergo Flux Flow 1000HC, Barcelona, España) con protocolo de intensidad fijas durante un esfuerzo progresivo al máximo. Figura 5. El protocolo de la prueba de esfuerzo de la prueba máxima. La velocidad de la cinta comenzó a 1,5 cada 30 segundos los niños más pequeños, con una altura de 120 cm a 2,5 metros por la altura de los niños más altos. A partir de entonces, tanto la velocidad de la cinta como la inclinación se incrementaron por 1,5 metros y 10%, respectivamente, cada 30 s. La prueba finalizó con el ejercicio de fatiga o la incapacidad para mantener el ritmo según el tiempo.



Figura 5.

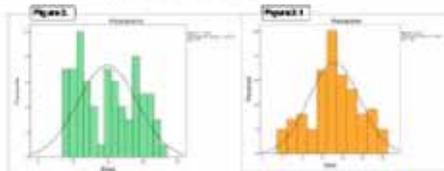
El consumo de oxígeno máximo de los niños con FQ fue y se usó a través de un protocolo de gases (Cosmed Z6C, Barcelona, Valencia, España).

Análisis estadístico

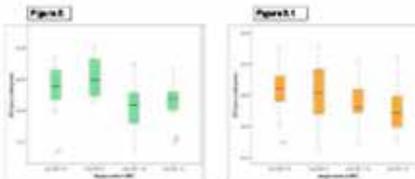
Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS (v.20, Statistical Package for Social Science version 20.0 (SPSS INC, Chicago, IL, USA). Para determinar las diferencias de medias entre los dos grupos se usó el test de Student de la T, donde el nivel de significación estadística fue $p < 0,05$.

RESULTADOS

Los niños sanos fueron clasificados en cuatro de las categorías de severidad de la enfermedad de la FQ y se usó el test de Student de la T, donde el nivel de significación estadística fue $p < 0,05$.



En las Figuras 1, FQ y S.F. sanos, se muestran las distribuciones de los datos de la muestra según un modelo de distribución normal entre ambos grupos. Se puede apreciar en el gráfico que la distribución de los datos es normal.



En las Figuras 3 FQ y S.F. sanos, podemos apreciar como se han distribuido ambos grupos según un modelo de distribución normal. Esto nos permite apreciar que hay diferencias entre los niños y niñas del grupo de fibrosis quística y los niños y niñas del grupo de sanos, cuando los valores de consumo máximo en el caso de los niños en ambos grupos.

Consumo de Oxígeno ($\dot{V}O_{2max}$)

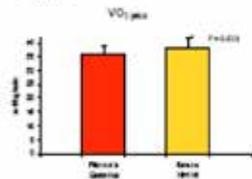
La media de $\dot{V}O_{2max}$ obtenida de los niños sanos fue de 35,30 l/min en niños sanos a 31,02 l/min para el grupo de niños con un diagnóstico de fibrosis quística. En la Tabla 2, se muestran los datos de este estudio por P. Fiuza, et al (2012) y podemos decir que nuestro grupo poblacional se encuentra entre los datos por encima de 20ml/kg/min, tanto considerando como peso como talla, pero no alcanza el valor que los niños de sergos fibrosos, tanto considerando como talla como peso.

	$\dot{V}O_{2max}$ por según variables Talla y Peso			
	<20	20-30	>30	Total
FQ	17	36	5	58
	21,2%	62,1%	8,6%	100%
Sanos	10	10	10	30
	33,3%	33,3%	33,3%	100%

Tabla 2.

En la Tabla 2 podemos ver la distribución de los niños sanos y con fibrosis quística en el consumo de oxígeno según ambos grupos, obtenidos de FQ y sanos siendo estos datos que muestran un valor más alto de este variable.

Figura 6.



CONCLUSIONES

Los niños con fibrosis quística que los niños con FQ de moderada a severa sufren una menor capacidad funcional al compararlos con una muestra de niños sanos. Dado que el consumo de oxígeno depende del tipo de ejercicio realizado y la capacidad funcional es un indicador más predictivo para la enfermedad pulmonar en un programa de ejercicio físico, se recomienda un programa de ejercicio físico, especialmente para el tratamiento de niños con fibrosis quística que ayudan junto con el tratamiento convencional a mejorar su calidad de vida. En la actualidad existen ya algunos estudios que han propuesto programas de entrenamiento de alta intensidad con resultados esperanzadores (Holtz, H., et al (2012)) pero sigue siendo necesario saber cómo una carga de ejercicio específica que la actividad física en un programa de ejercicio físico cardiovascular puede ayudar a mejorar una prueba de ejercicio físico en niños con fibrosis quística. En el 2010, el estudio de Fiuza et al (2010) demostró que los niños con fibrosis quística que están en el nivel de actividad física máxima tienen el peor pronóstico. P. Fiuza, et al (2012). En la actualidad existen trabajos con un programa de ejercicio físico cardiovascular y de fuerza que muestran resultados positivos en la mejora de la capacidad funcional por el que se puede considerar el estudio de la capacidad funcional en un programa de ejercicio físico cardiovascular en niños con fibrosis quística.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. Pitt P, Van der Wal AC, Hagem G, Hadders P, van der Wal AC, Longstaffe M, et al. Lung function and peak aerobic performance in children with cystic fibrosis. Chest 2005; 128(12):1579-1585.
- 2. Fiuza P, Latorre J, S. Alcaraz, A. Pablos. Impacto del ejercicio físico en la calidad de vida de los niños con fibrosis quística. Rev Esp Pediatr 2010; 116(4):205.
- 3. Haddad, H. J., Serna L M, Van der Wal AC, Hadders P, van der Wal AC, Longstaffe M, et al. Lung function and peak aerobic performance in children with cystic fibrosis. Chest 2005; 128(12):1579-1585.
- 4. Latorre J, Serna L, Delgado R, Carmona C. Can exercise training improve maximal aerobic power ($\dot{V}O_{2max}$) in children with cystic fibrosis? Respiratory Physiology and Neurobiology 2010; 174(1):1-6.
- 5. Serna L, Serna E, Santana E, González L, Rodríguez G, López L, et al. Lung function and peak aerobic performance in children with cystic fibrosis: a randomized controlled trial. Medicine and Science in Sports and Exercise 2012; 44(1):1-6.

Figura 73: Póster n.º 9. La capacidad funcional en un grupo de niños con fibrosis quística comparado con un grupo de niños sanos. Lucas Serna, Elena Santana, Laura González, José Méndez, Alberto González, Gabriel Rodríguez Romo, Luis Miguel López Mojares, Carmen Fiuza, José Ramón Villa, Alejandro Lucía y Margarita Pérez Ruiz.

LA CAPACIDAD FUNCIONAL EN UN GRUPO DE NIÑOS CON FIBROSIS QUÍSTICA COMPARADO CON UN GRUPO DE NIÑOS SANOS (figura 73)

Lucas Serna¹, Elena Santana¹, Laura González¹, José Mendez³, Alberto González³, Gabriel Rodríguez Romo², Luis Miguel López Mojares¹, Carmen Fiuza¹, José Ramón Villa⁴, Alejandro Lucía¹, Margarita Pérez Ruiz¹

¹ Universidad Europea de Madrid

² Universidad Politécnica de Madrid

³ Colegio Zuloaga

⁴ Hospital Niño Jesús

Introducción

Los enfermos de fibrosis quística (FQ) presentan limitaciones al ejercicio. Dichas limitaciones dependen de la progresión de la enfermedad, que a su vez se relaciona con la tasa de declinación de la función pulmonar, la función de los músculos esqueléticos, el estatus nutricional y la capacidad del sistema cardiorrespiratorio para enfrentarse al estrés metabólico que supone el ejercicio (Klijn *et al.*, 2003).

La capacidad funcional medida como consumo de oxígeno (VO_{2pico}) nos informa sobre la salud de la población. Además, resulta ser un factor pronóstico en la patología crónica en los niños que padecen FQ. Pianosi *et al.*² informaron en 2005 que los niños con un consumo de oxígeno por debajo de 32ml/kg/min tendrían un aumento de su mortalidad frente a los niños que tienen un consumo de oxígeno por encima de 45m/kg/min. Dada la importancia de esta variable para población sana y enferma, nos planteamos realizar un estudio descriptivo de un grupo poblacional amplio de niños y adolescentes sanos y enfermos de fibrosis quística.

Objetivos

El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad funcional de un grupo de niños enfermos de fibrosis quística de afectación leve-moderada comparada con un grupo de niños sanos.

Material y métodos

Participaron 118 niños sanos y 77 niños que padecían FQ afectación pulmonar leve-moderada. Los niños enfermos fueron diagnosticados en el servicio de neumología del Hospital Niño Jesús y a los niños sanos se les evaluó en la unidad de fisiología de ejercicio de la Universidad Europea de Madrid. En la tabla 1 aparecen todos los datos de la muestra.

Todos los participantes realizaron una prueba de esfuerzo en una cinta ergométrica (Technogym Run Race 1400HC, Gambettola, Italia) con protocolo incremental hasta alcanzar un esfuerzo próximo al máximo (figura 1). El protocolo de la prueba se realizó de la siguiente manera: La velocidad de la cinta comenzó a 1,5 km/h (para los niños más pequeños, con una altura menor de 120 cm) o 2,5 km/h (si la altura de los niños era mayor de 120 cm). A partir de entonces, tanto en velocidad de la cinta como la inclinación, se incrementaron (un 0,1 km/h y 0,5%, respectivamente) cada 15 s. La prueba finalizaba con la aparición de fatiga o la incapacidad para mantener cierta carga de trabajo.

Discusión y conclusiones

Nuestros resultados muestran que los niños con FQ de afectación leve-moderada tienen una menor condición física si la comparamos con una muestra pareada de niños sanos. Dado que el consumo de oxígeno mejora con la dosis de ejercicio correcta y la capacidad funcional es un importante valor pronóstico para la enfermedad, planteamos un programa de ejercicio intrahospitalario para el tratamiento de niños con fibrosis quística que ayudaría, junto con el tratamiento convencional, a mejorar su calidad de vida.

En la actualidad existen ya algunos estudios que han propuesto programas de entrenamiento de alta intensidad con resultados esperanzadores (p. e. Hulzebos *et al.*, 2011), pero sigue siendo necesario aclarar esto con una mayor evidencia científica que lo acredite. La literatura evidencia que un programa de ejercicio cardiovascular puede llegar a suponer una pequeña mejora en población infantil sana en torno al 6% (Linda *et al.*, 1999) sobre el VO_2 máx; esto puede ser de mucha relevancia para aquellos pacientes enfermos que están en el límite de alcanzar valores cercanos al buen pronóstico (Pianosi *et al.*, 2005). Hoy existen trabajos con un programa de ejercicio mixto (cardiovascular y de fuerza) que encuentra importantes mejoras en la masa muscular, sistema por el que se puede comenzar la mejora de la condición física (Santana Sosa *et al.*, 2012); es por tanto necesario que se siga trabajando en esta dirección para ayudar con el ejercicio a estos pacientes.

Bibliografía

- KLIJN, P. H.; VAN DER NET, J.; KIMPEN, J. L.; HELDERS, P. J., y VAN DER ENT, C. K., “Longitudinal determinants of peak aerobic performance in children with cystic fibrosis”. *Chest*, 2003, n.º 124, pp. 2215–2219.
- PIANOSI, P., LEBLANC, J. y ALMUDEVAR, A., “Peak oxygen uptake and mortality in children with cystic fibrosis”. *Thorax*, 2005, n.º 60 (1), pp. 50-54.
- HULZEBOS, H. J.; SNIEDER, H. H.; VAN DER NET, J. J.; HELDERS, P. M., y TAKKEN, T. T., “High-intensity interval training in an adolescent with cystic fibrosis: A physiological perspective”. *Physiotherapy Theory & Practice*, 2011, n.º 27 (3), pp. 231-237.
- LEMURA, Linda M., VON DULLIVARD, Serge P., CARLONAS, Richelle y ANDREACCI, Joseph, “Can exercise training improve maximal aerobic power (VO₂max) in children?: A meta-analytic review”. *Journal of Exercise Physiology Online*, 1999, n.º 2 (3), pp. 1-14.
- SANTANA SOSA, E.; GROENEVELD, I.; GONZÁLEZ-SÁIZ, L.; LÓPEZ-MOJARES, L.; VILLA-ASENSI, J.; BARRIO GONZÁLEZ, M., y LUCÍA, A., “Intrahospital weight and aerobic training in children with cystic fibrosis: A randomized controlled trial”. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2012, n.º 44 (1), pp. 2-11.

AGOTAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN EN GRAN ALTITUD

Nerín MA, Morandeira JR, Casado R, López Molina M
 Universidad de Zaragoza – Hospital Clínico Universitario "Lozano Blesa" de Zaragoza
 (*) Hospital de Baza (Granada)



La situación hormonal que puede producir el estrés de los días de cima condiciona una gran alteración en la composición de la orina, independientemente de las condiciones bioquímicas del medio interno. Se produce oliguria y un incremento importante de la eliminación de potasio, de hasta 100 mEq/l mientras dura la situación de estrés. Esto conlleva una situación de riesgo vital desconocida por la mayoría de los alpinistas, deportistas que se desenvuelven en un medio difícil, aislado y hostil.

Varón de entre 30 y 40 años, alpinista profesional, que llega al Campo Base (CB) del Manaslu en buenas condiciones. Tras el periodo de aclimatación a la gran altitud, asciende en tres días del CB (5.000 metros) al C2 (6.400), al C3 (7.100), e intenta cima (8.163 m). Durante los días de ascensión, ingiere una media de dos litros de líquido al día, en forma de agua y sopas, además de suplementos energéticos. Debido a las malas condiciones climatológicas (temperaturas de 20 bajo cero y vientos fuertes de 60 km/hora), y sensación de fatiga, se da la vuelta con su grupo a 7.600 metros. Cada uno de ellos baja a su ritmo, según sus posibilidades. Cuando llega al C3, bajando del intento cima, bebe un sorbo de agua y come una pastilla de sales minerales y glucosa, y continúa solo al C2 tambaleándose. Una vez a 6.400 metros, no tiene fuerzas para seguir bajando por sus medios al C1. Un grupo de seis alpinistas lo bajan en "parihuelas" hasta el C1 (5.700 m), y sobre un aislante lo arrastran hasta el Campo Base (CB). A su llegada al CB, a las siete de la tarde del tercer día, tras catorce horas de esfuerzo continuado, el paciente presenta la siguiente exploración (Tabla 1).

	19:30 h	19:50 h
Nivel de conciencia	Consciente	
Respuesta verbal	Óbvia	
Pupilas	Normales	
Mucosas	Secas	
Frecuencia respiratoria	24 x min	21 x min
Frecuencia cardíaca	70 x min	80 x min



Se coge una vía venosa periférica, se saca sangre para analítica, y se inicia perfusión con suero glucosalino. El análisis con i-Stat a las 19:30 aporta los siguientes datos (Tabla 2).



	19:30 h	19:50 h	Normal
Sodio (mmol/L)	148	138	(136 - 146 mmol/L)
Potasio (mmol/L)	2.9	2.9	(3.5 - 4.5 mmol/L)
TCO ₂ (mmol/L)	24	28	(22-28 mmol/L)
Cl- (mmol/L)	108	113	(102 - 112 mmol/L)
Hct (%)	45	—	(38-48 %)
Hb (g/L)	15.3	15.3	(13-16 g/L)
pH	7.38	7.38	(7.35-7.45)
PCO ₂ (mmHg)	24.1	32.0	(31-40 mmHg)
HCO ₃ (mmol/L)	23.3	24.9	(24-28 mmol/L)
BE _{eff} (mmol/L)	1	2	(-2 a 2 mmol/L)

Tabla 2 - Analítica del paciente

Se administran en tres horas (entre las 19 y las 22 h) sueros templados vía intravenosa (1.000 cc de suero fisiológico y 1.000 cc de suero glucosalino), 50 mEq de potasio, 300 cc de sopa, 200 cc de té con azúcar, y 500 cc de zumos.

□ A las 20:30, se realiza una segunda evaluación de las constantes del paciente (Tabla 1).

□ A las 21 h se recogen 150 ml de orina muy oscura, con una gravedad específica superior a 1030 (valores normales entre 1002 y 1026) y un pH de 9. Se repite el análisis de sangre venosa a las 22 h (Tabla 2).

□ En la última evaluación de la noche, a las 22:30 h (Tabla 1), el paciente se encuentra mucho mejor, consigue aguantarse de pie y deambular de forma autónoma. Se le indica beber una bebida de reposición durante la noche (2 litros de agua, el zumo de dos naranjas, el zumo de dos limones, 12 cucharadas de azúcar, y una cucharadita de sal) y recoger la orina. El paciente no refiere haber sufrido diarrea los días previos.

A la mañana siguiente, el paciente ha normalizado la gasometría y el ionograma; la frecuencia cardíaca y respiratoria, y la tensión arterial son normales, la saturación de oxígeno es del 80%, y muestra una orina oscura (se recogieron 500 ml en 12 horas). Este alpinista, muy probablemente, hubiera muerto por hipotermia secundaria a agotamiento y deshidratación, al quedar inmovilizado en gran altitud, sin posibilidad de llegar al CB por sus medios. En circunstancias similares se vio su compañero de grupo, Giuseppe, que se quedó en el C3 "para recuperarse" y allí murió, mientras Marco descendía al C2. Es un gran error permanecer en los campos de altura pensando que se recuperarán fuerzas. La altitud consume las pocas reservas que tiene el organismo.



El POTASIO es el principal catión intracelular (116 mEq/l). En el líquido extracelular su concentración es de 4 mEq/l. Tiene un papel clave en el metabolismo celular:

- Está involucrado en el mantenimiento del equilibrio hídrico, el equilibrio ácido-base, y el equilibrio osmótico entre las células y el líquido intersticial.

- La célula muscular es la más afectada por la carencia de potasio, ya que interviene en la relajación muscular y la regulación de la actividad neuromuscular. La hipopotasemia da lugar a una hipotonía del músculo estriado, liso y cardíaco.

Los síntomas de deficiencia incluyen: debilidad muscular, fatiga, parestias, calambres, migrañas, disminución del flujo sanguíneo renal y de la filtración glomerular, hipotensión ortostática, alteraciones en el electrocardiograma (aumento de la amplitud de la onda P, depresión del segmento ST, prolongación y depresión del espacio QT y ensanchamiento, aplastamiento o inversión de la onda T), y arritmias cardíacas.

Cuando desciende por debajo de 2.0 mmol/L se puede presentar rabdomiólisis y mioglobinuria; la afectación muscular puede variar desde una debilidad discreta hasta parálisis total y paro cardiorespiratorio.

Los iones CALCIO y SODIO intervienen en el control del acoplamiento de la excitación-contracción del músculo cardíaco, en la sinapsis neuronal, uniones neuromusculares, riñón y células β del páncreas.

*A partir de las analíticas realizadas a alpinistas en los Campos Base del Manaslu 2009 y el Annapurna 2010, podemos manifestar que el potasio tiene un papel muy importante en las situaciones de fatiga y deshidratación en altitud, a las que podemos atribuir más de una muerte en gran altitud.

-El esfuerzo continuado, junto con el estrés y la deshidratación a estas altitudes, condicionan una respuesta "suprafisiológica" irrepetible en laboratorio; por ello, seguimos estudiando "in situ" a los alpinistas, para entender el por qué y cómo de estos desequilibrios electrolíticos, y poder evitarlos o afrontarlos convenientemente.

Figura 74: Póster n.º 10. Agotamiento y deshidratación en gran altitud. Nerín, M. A.; Morandeira, J. R.; Casado, R., y López Molina, M.

AGOTAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN EN GRAN ALTITUD (figura 74)

M. A. Nerín, J. R. Morandeira, R. Casado, M. López Molina

Universidad de Zaragoza - Hospital Clínico Universitario "Lozano Blesa" de Zaragoza (*). Hospital de Baza (Granada)

Introducción

La situación hormonal que puede producir el estrés de los días de cima condiciona una gran alteración en la composición de la orina, independientemente de las condiciones bioquímicas del medio interno. Se produce oliguria y un incremento importante de la eliminación de potasio, de hasta 100 mEq/l mientras dura la situación de estrés. Esto conlleva una situación de riesgo vital desconocida por la mayoría de los alpinistas, deportistas que se desenvuelven en un medio difícil, aislado y hostil.

Caso clínico

Varón de entre 30 y 40 años, alpinista profesional, que llega al campo base (CB) del Manaslu en buenas condiciones. Tras el periodo de aclimatación a la gran altitud, asciende en tres días del CB (5.000 metros) al C2 (6.400) y al C3 (7.100) e intenta cima (8.163 m). Durante los días de ascensión, ingiere una media de dos litros de líquido al día, en forma de agua y sopas, además de suplementos energéticos.

Debido a las malas condiciones climatológicas (temperaturas de 20 bajo cero y vientos fuertes de 60 km/hora) y a la sensación de fatiga, se da la vuelta con su grupo a 7.600 metros; cada uno de ellos baja a su ritmo, según sus posibilidades. Cuando llega al C3, bajando del intento cima, bebe un sorbo de agua y come una pastilla de sales minerales y glucosa, y continúa solo al C2 tambaleándose. Una vez a 6.400 metros, no tiene fuerzas para seguir bajando por sus medios al C1, por lo que un grupo de seis alpinistas lo bajan en "parihuelas" hasta el C1 (5.700 m), y sobre un aislante lo arrastran hasta el campo base (CB). A su llegada al CB, a las siete de la tarde del tercer día, tras catorce horas de esfuerzo continuado, el paciente presenta la siguiente exploración (tabla 1).

Se coge una vía venosa periférica, se saca sangre para analítica y se inicia perfusión con suero glucosalino. El análisis con I-Stat a las 19:30 aporta los siguientes datos (tabla 2): el resultado evidencia un estado de alcalosis; TCO_2 , BEecf (exceso de bases del fluido extracelular) y HCO_3^- dan idea, en casos de variaciones agudas principalmente, del componente metabólico del estado ácido-base del paciente, mientras que la PCO_2 evalúa principalmente la ventilación y representa el componente respiratorio del estado ácido-base. Simplificando la lectura, el paciente presenta: 1) Una alcalosis respiratoria (pH

elevado, PCO_2 baja y discreta disminución compensatoria del HCO_3^- , con TCO_2 y BEecf normales), propia de una respuesta fisiológica a la hipoxia en gran altitud. 2) Alteraciones del ionograma. Lo más preocupante, la disminución del potasio por debajo de los 3,5 mmol/L (en este caso 2.9 mg/dl); en este caso, el déficit de potasio es algo superior al 10%.

Se administran en tres horas (entre las 19 y las 22 h) sueros templados vía intravenosa (1.000 cc de suero fisiológico y 1.000 cc de suero glucosalino), 50 mEq de potasio, 300 cc de sopa, 200 cc de té con azúcar y 500 cc de zumos. A las 20:30, se realiza una segunda evaluación de las constantes del paciente (tabla 1). A las 21 h se recogen 150 ml de orina muy oscura, con una gravedad específica superior a 1.030 (los valores normales están entre 1.002 y 1.028) y un pH de 9. Se repite el análisis de sangre venosa a las 22 h (tabla 2). En la última evaluación de la noche, a las 22:30 h (tabla 1), el paciente se encuentra mucho mejor, consigue aguantarse de pie y deambular de forma autónoma; se le indica beber una bebida de reposición durante la noche (2 litros de agua, el zumo de dos naranjas, el zumo de dos limones, 12 cucharadas de azúcar y una cucharadita de sal) y recoger la orina. El paciente no refiere haber sufrido diarrea los días previos.

A la mañana siguiente, el paciente ha normalizado la gasometría y el ionograma; la frecuencia cardiaca y respiratoria y la tensión arterial son normales, la saturación de oxígeno es del 80% y muestra una orina oscura (se recogieron 500 ml en 12 horas). Este alpinista, muy probablemente, hubiera muerto por hipotermia secundaria a agotamiento y deshidratación al quedar inmovilizado en gran altitud, sin posibilidad de llegar al CB por sus medios. En circunstancias similares se vio su compañero de grupo, Giuseppe, que se quedó en el C3 "para recuperarse" y allí murió, mientras Marco descendía al C2. Es un gran error permanecer en los campos de altura pensando que se recuperarán fuerzas. La altitud consume las pocas reservas que tiene el organismo.

El potasio es el principal catión intracelular (116 mEq/l). En el líquido extracelular, su concentración es de 4 mEq/l. Tiene un papel clave en el metabolismo celular y está involucrado en el mantenimiento del equilibrio hídrico, el equilibrio ácido-base y el equilibrio osmótico entre las células y el líquido intersticial. La célula muscular es la más afectada por la carencia de potasio, ya que interviene en la relajación muscular y la regulación de la actividad neuromuscular. La hipopotasemia da lugar a una hipotonía del músculo estriado, liso y cardiaco.

Los síntomas de deficiencia incluyen: debilidad muscular, fatiga, parestesias, calambres, mialgias, disminución del flujo sanguíneo renal y de la filtración glomerular, hipotensión ortostática, alteraciones en el electrocardiograma (aumento de la amplitud de la onda P, depresión del segmento ST, prolongación

y depresión del espacio QT y ensanchamiento, aplanamiento o inversión de la onda T) y arritmias cardíacas. Cuando desciende por debajo de 2.0 mmol/L, se puede presentar rhabdomiolisis y mioglobinuria; la afectación muscular puede variar desde una debilidad discreta hasta parálisis total y paro cardiorespiratorio. Los iones calcio y sodio intervienen en el control del acoplamiento de la excitación/contracción del músculo cardíaco, en la sinapsis neuronal, uniones neuromusculares, riñón y células β del páncreas.

Conclusiones

A partir de las analíticas realizadas a alpinistas en los campos base del Manaslu en 2009 y el Annapurna en 2010, podemos manifestar que el potasio tiene un papel muy importante en las situaciones de fatiga y deshidratación en altitud, a las que podemos atribuir más de una muerte en gran altitud.

El esfuerzo continuado, junto con el estrés y la deshidratación a estas altitudes, condicionan una respuesta *suprafisiológica* irrepetible en laboratorio; por ello, seguimos estudiando in situ a los alpinistas para entender el porqué y cómo de estos desequilibrios electrolíticos y poder así evitarlos o afrontarlos convenientemente.

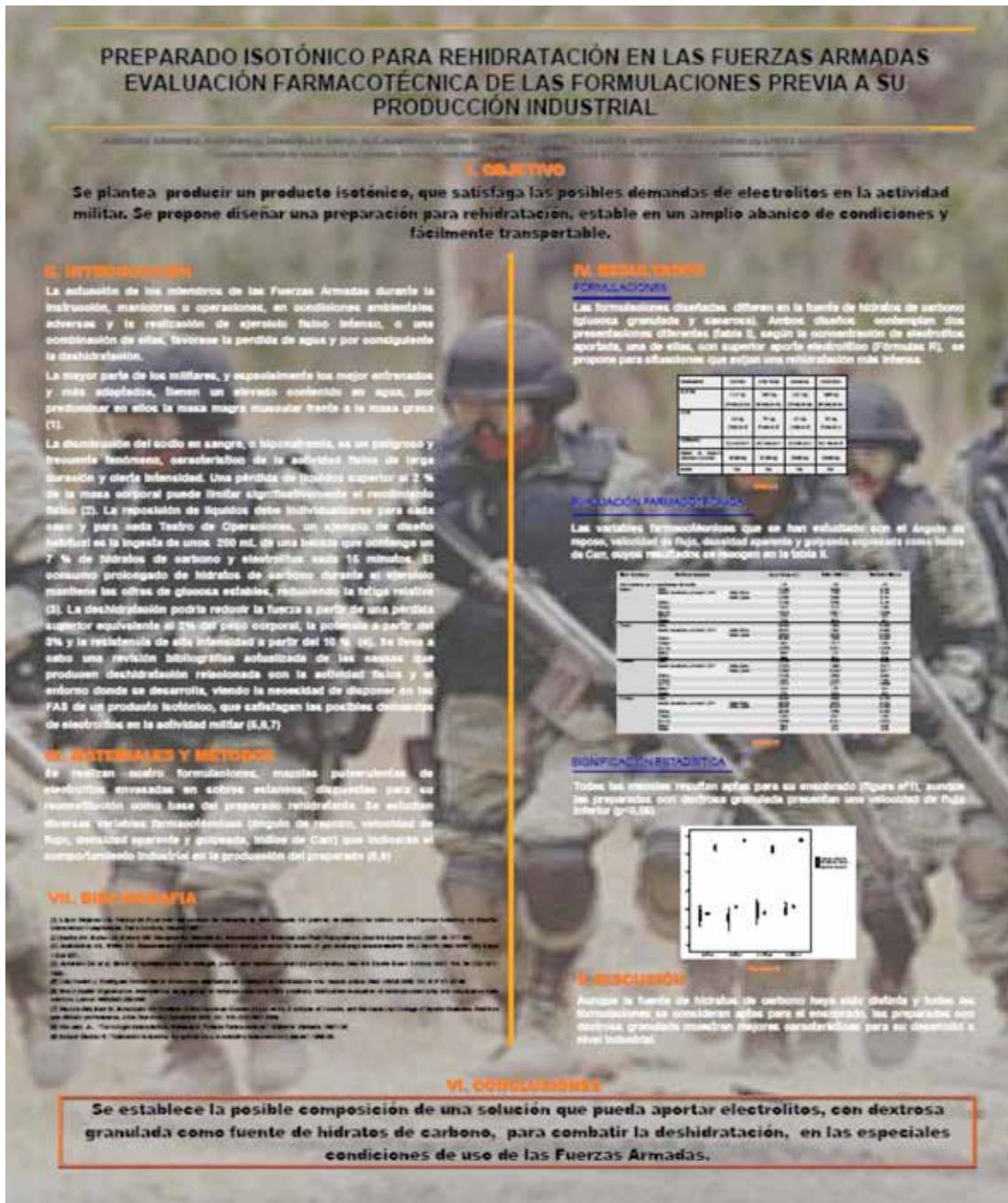


Figura 75: Póster n.º 11. Preparado isotónico para rehidratación en las Fuerzas Armadas. Evaluación farmacotécnica de las formulaciones previa a su producción industrial. Juberías Sánchez, Antonio; Zamanillo Sáinz, Alejandro; Verón Moros, Mercedes; Cabrera Merino, Juan Ignacio, y López Mojares, Luis Miguel.

PREPARADO ISOTÓNICO PARA REHIDRATACIÓN EN LAS FUERZAS ARMADAS. EVALUACIÓN FARMACOTÉCNICA DE LAS FORMULACIONES PREVIA A SU PRODUCCIÓN INDUSTRIAL (Figura 75)

Antonio Juberías Sánchez¹; Alejandro Zamanillo Sáinz²; Mercedes Verón Moros¹; Juan Ignacio Cabrera Merino¹; Luis Miguel López Mojares³

¹ Centro Militar de Farmacia de la Defensa

² Inspección General de Sanidad Ministerio de Defensa

³ Servicio Médico Ministerio de Defensa

Introducción

La actuación de los miembros de las Fuerzas Armadas durante la instrucción, maniobras u operaciones, en condiciones ambientales adversas, y la realización de ejercicio físico intenso –o una combinación de ellas– favorecen la pérdida de agua y, por consiguiente, la deshidratación. Pero la mayor parte de los militares, y especialmente los mejor entrenados y más adaptados, tienen un elevado contenido en agua por predominar en ellos la masa magra muscular frente a la masa grasa (1).

La disminución del sodio en sangre, o hiponatremia, es un peligroso y frecuente fenómeno, característico de la actividad física de larga duración y cierta intensidad. Una pérdida de líquidos superior al 2% de la masa corporal puede limitar significativamente el rendimiento físico (2).

La reposición de líquidos debe individualizarse para cada caso y para cada teatro de operaciones; un ejemplo de diseño habitual es la ingesta de unos 200 ml de una bebida que contenga un 7% de hidratos de carbono y electrolitos cada 15 minutos, pues el consumo prolongado de hidratos de carbono durante el ejercicio mantiene las cifras de glucosa estables, reduciendo la fatiga relativa (3). La deshidratación podría reducir la fuerza a partir de una pérdida superior equivalente al 2% del peso corporal, la potencia a partir del 3% y la resistencia de alta intensidad a partir del 10% (4). Se lleva a cabo una revisión bibliográfica actualizada de las causas que producen deshidratación relacionada con la actividad física y el entorno donde se desarrolla, viendo la necesidad de disponer en las FAS de un producto isotónico que satisfaga las posibles demandas de electrolitos en la actividad militar (5, 6, 7).

Objetivo

Se plantea producir un producto isotónico que satisfaga las posibles demandas de electrolitos en la actividad militar. Se propone diseñar una preparación para rehidratación estable en un amplio abanico de condiciones y fácilmente transportable.

Materiales y métodos

Se realizan cuatro formulaciones, mezclas pulverulentas de electrolitos envasadas en sobres estancos, dispuestas para su reconstitución como base del preparado rehidratante. Se estudian diversas variables farmacotécnicas (ángulo de reposo, velocidad de flujo, densidad aparente y golpeada e índice de Carr) que indicarán el comportamiento industrial en la producción del preparado (8, 9).

Resultados

Formulaciones

Las formulaciones diseñadas difieren en la fuente de hidratos de carbono (glucosa granulada y sacarosa), y ambos diseños contemplan dos presentaciones diferentes (tabla I). Según la concentración de electrolitos aportada, una de ellas, con superior aporte electrolítico (fórmulas R), se propone para situaciones que exijan una rehidratación más intensa.

Evaluación farmacotécnica

Las variables farmacotécnicas que se han estudiado son: ángulo de reposo, velocidad de flujo, densidad aparente y golpeada expresada como índice de Carr, cuyos resultados se recogen en la tabla II.

Estadística

Todas las mezclas resultan aptas para su ensobrado (figura n.º 75), aunque las preparadas con dextrosa granulada presentan una velocidad de flujo inferior ($p < 0,05$).

Discusión

Aunque la fuente de hidratos de carbono haya sido distinta y todas las formulaciones se consideran aptas para el ensobrado, las preparadas con dextrosa granulada muestran mejores características para su desarrollo a nivel industrial.

Conclusión

Se establece la posible composición de una solución que pueda aportar electrolitos, con dextrosa granulada como fuente de hidratos de carbono, para combatir la deshidratación en las especiales condiciones de uso de las Fuerzas Armadas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	13
Figura 2.....	16
Figura 3.....	17
Figura 4.....	28
Figura 5.....	30
Figura 6.....	31
Figura 7.....	34
Figura 8.....	58
Figura 9.....	59
Figura 10.....	60
Figura 11.....	61
Figura 12.....	64
Figura 13.....	68
Figura 14.....	69
Figura 15.....	73
Figura 16.....	77
Figura 17.....	81
Figura 18.....	82
Figura 19.....	82
Figura 20.....	83
Figura 21.....	84
Figura 22.....	85

Figura 23.	90
Figura 24.	99
Figura 25.	100
Figura 26.	102
Figura 27.	105
Figura 28.	109
Figura 29.	109
Figura 30.	109
Figura 31.	109
Figura 32.	131
Figura 33.	133
Figura 34.	134
Figura 35.	135
Figura 36.	136
Figura 37.	137
Figura 38.	138
Figura 39.	140
Figura 40.	141
Figura 41.	141
Figura 42.	142
Figura 43.	142
Figura 44.	142
Figura 45.	150
Figura 46.	151

Figura 47.	153
Figura 48.	155
Figura 49.	155
Figura 50.	157
Figura 51.	159
Figura 52.	160
Figura 53.	161
Figura 54.	167
Figura 55.	171
Figura 56.	171
Figura 57.	172
Figura 58.	176
Figura 59.	176
Figura 60.	177
Figura 61.	178
Figura 62.	179
Figura 63.	180
Figura 64.	181
Figura 65.	181
Figura 66.	187
Figura 67.	193
Figura 68.	197
Figura 69.	201
Figura 70.	207

Figura 71.....	211
Figura 72.....	215
Figura 73.....	221
Figura 74.....	225
Figura 75.....	229