

DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA
FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD DE GRANADA

**LA CERVEZA COMO BEBIDA REHIDRATANTE
DESPUÉS DEL EJERCICIO**

Efectividad y seguridad para el consumidor



Universidad de Granada

TESIS DOCTORAL

MÓNICA SOFÍA CERVANTES BORUNDA

MAYO 2011

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Mónica Sofía Cervantes Borunda
D.L.: GR 4035-2011
ISBN: 978-84-694-5721-4

DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA
FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD DE GRANADA



**LA CERVEZA COMO BEBIDA REHIDRATANTE
DESPUÉS DEL EJERCICIO.**

Efectividad y seguridad para el consumidor.

MÓNICA SOFÍA CERVANTES BORUNDA

DIRECTORES DE TESIS

Dr. Manuel J. Castillo Garzón
Catedrático de Universidad
Universidad de Granada

Dr. David Jiménez Pavón
Investigador Posdoctoral
Universidad de Zaragoza

Dr. Javier Romeo Marín
Investigador
CSIC Madrid

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Dr. Angel Gutiérrez
Prof. Titular de Universidad
Universidad de Granada

Dr. Jose Antonio Casajús
Prof. Titular de Universidad
Universidad de Zaragoza

Dr. Dolores Cabañas
Prof. Titular de Universidad
Universidad Complutense

Dr. Marzo da Silva
Investigador
Centro Andaluz de Medicina del Deporte
Córdoba

Dr. David Cárdenas.
Prof. Titular de Universidad
Universidad de Granada

Granada, 26 de Mayo de 2011.

*“No el mucho saber harta y satisface el alma,
sino el gustar de las cosas internamente”.*

San Ignacio de Loyola



Prof. Dr. Manuel J. CASTILLO GARZON
Catedrático de Universidad

Departamento de Fisiología
FACULTAD DE MEDICINA
Universidad de Granada

MANUEL J. CASTILLO GARZÓN, CATEDRÁTICO DE FISIOLÓGÍA MÉDICA
EN LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada “LA CERVEZA COMO BEBIDA REHIDRATANTE DESPUÉS DEL EJERCICIO. Efectividad y seguridad para el consumidor” que presenta Dña. MÓNICA SOFÍA CERVANTES BORUNDA, al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Granada, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2006-2011, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

Fdo. Manuel J. Castillo Garzón

En Granada, 28 de Abril de 2011



Universidad
Zaragoza



Dr. DAVID JIMÉNEZ PAVÓN
Investigador Post-Doctoral

Departamento de Fisiatría y Pediatría
(GENUD Research Group)
E.U. de Ciencias de la Salud
Universidad de Zaragoza

DAVÍD JIMÉNEZ PAVÓN, INVESTIGADOR POST-DOCTORAL JUAN DE LA
CIERVA DEL MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada *“La cerveza como bebida rehidratante después del ejercicio. Efectividad y seguridad para el consumidor”* que presenta D^a. **MÓNICA SOFÍA CERVANTES BORUNDA** al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Granada, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2006-2011, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor con mención Europea, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

Fdo. David Jiménez Pavón

En Zaragoza, 03 de Mayo de 2011



MINISTERIO
DE CIENCIA



INSTITUTO DEL FRÍO

JAVIER ROMEO MARÍN, INVESTIGADOR DEL GRUPO DE INMUNONUTRICION DEL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS Y NUTRICION (ICTAN), INSTITUTO DEL FRIO DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS (CSIC), MADRID

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada “*LA CERVEZA COMO BEBIDA REHIDRATANTE DESPUÉS DEL EJERCICIO*” que presenta **Dña. Mónica Sofía Cervantes Borunda** al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Granada, ha sido realizada bajo mi co-dirección durante los años 2006-2011, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor con mención Europea, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

Fdo. JAVIER ROMEO MARIN

En Madrid, 30 de Abril de 2011

Dr. Javier Romeo, Javier Romeo Marín, Ph.D.

Immunonutrition Research Group, Department of Metabolism and Nutrition, Institute of Food Science, Technology and Nutrition (ICTAN), Instituto del Frío, C/José Antonio Novais, 10

28040 Madrid, Spain

Phone: +34 915445607

Fax. + 34 91 5493627

e-mail: jromeo@if.csic.es



ALCANCE: La gestión y ejecución de proyectos y contratos de investigación en el área de ciencia y tecnología de alimentos y nutrición.

C/ JOSÉ ANTONIO NOVÁIS, 10

CIUDAD UNIVERSITARIA

28040 MADRID, ESPAÑA

TELS.: 91 544 56 07 – 91 549 23 00

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	pag. 19
RESUMEN	pag. 21
ABREVIATURAS	pag. 22
INTRODUCCION	pag. 25
La cerveza en la alimentación del ser humano	pag. 27
Regulación de la temperatura corporal durante el ejercicio	pag. 30
<i>Mecanismos de la pérdida de calor durante el ejercicio</i>	pag. 31
<i>Evaporación de agua durante el ejercicio</i>	pag. 32
Homeostasis hídrica durante el ejercicio	pag. 33
<i>Distribución del agua en el organismo</i>	pag. 35
<i>La sensación de sed. Papel fisiológico</i>	pag. 36
<i>Pérdidas hídricas por sudoración</i>	pag. 37
<i>Composición del sudor</i>	pag. 39
<i>Factores que influyen en la composición del sudor</i>	pag. 40
Importancia de la hidratación en el ejercicio y la práctica deportiva	pag. 42
<i>Factores que influyen en el nivel de hidratación</i>	pag. 43
<i>Rehidratación tras la práctica de ejercicio</i>	pag. 44
<i>Pautas de hidratación</i>	pag. 46
<i>Hiperhidratación: un importante problema a evitar</i>	pag. 50
<i>Bebidas hidratantes</i>	pag. 51
¿Puede ser la cerveza efectiva como bebida rehidratante?	pag. 54
<i>El problema del alcohol</i>	pag. 55
<i>Alcohol y salud</i>	pag. 57
<i>Alcohol y rendimiento físico</i>	pag. 59
OBJETIVOS	pag. 64
HIPOTESIS	pag. 66
MATERIAL Y METODOS	pag. 68
Sujetos	pag. 69
<i>Características de la Muestra</i>	pag. 69
Diseño Experimental	pag. 71
Descripción de la Batería de test	pag. 73
<i>Análisis de la composición corporal</i>	pag. 73

<i>Escáner de absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA)</i>	pag. 73
<i>Bioimpedancia eléctrica multifrecuencia</i>	pag. 74
<i>Mediciones Antropométricas estandarizadas</i>	pag. 74
Estudio Analítico	pag. 75
<i>Análisis de Orina</i>	pag. 76
<i>Hematología y Bioquímica Clínica Plasmática</i>	pag. 77
<i>Parámetros inmunológicos</i>	pag. 78
<i>Análisis de Saliva</i>	pag. 80
<i>Función Psico-Cinética: Habilidades Perceptivo-Motrices</i>	pag. 81
Descripción del Protocolo Experimental	pag. 82
Análisis Estadístico	pag. 86
RESULTADOS	pag. 87
Efectos del ejercicio en ambiente caluroso	pag. 88
<i>Efectos del Protocolo de Carrera</i>	pag. 88
<i>Sensación de sed y calidad de percepción subjetiva</i>	pag. 89
Efectos Sobre el Peso y Composición Corporal	pag. 90
<i>Pérdida y recuperación del peso corporal</i>	pag. 90
<i>Evolución de la composición corporal</i>	pag. 91
Efectos Sobre el Balance Hídrico y Mineral	pag. 99
<i>Balance Hídrico</i>	pag. 99
<i>Excreción Urinaria de Solutos</i>	pag. 102
Efectos sobre la Recuperación Hemato-metabólica	pag. 104
<i>Parámetros Hematológicos</i>	pag. 104
<i>Parámetros Séricos</i>	pag. 107
<i>Parámetros Hormonales</i>	pag. 109
<i>Parámetros de Daño Muscular e Inflamación</i>	pag. 113
Efectos sobre la respuesta inmunológica	pag. 116
Efectos sobre la Función Psico-Cognitiva. Habilidades Perceptivo-Motrices	pag. 122
<i>Tiempo de Reacción</i>	pag. 122
<i>Percepción Periférica</i>	pag. 125
DISCUSION	pag. 127

Ejercicio y Cerveza	pag. 128
Efectos del ejercicio en ambiente caluroso.	pag. 132
<i>Nivel de sobrecarga funcional</i>	pag. 132
<i>Pérdidas hídricas y sus consecuencias</i>	pag. 133
<i>Deshidratación y rendimiento físico</i>	pag. 135
<i>Parámetros fisiológicos indicativos del nivel de hidratación</i>	pag. 136
<i>Medida del estado de hidratación</i>	pag. 137
<i>Peso corporal como medida del estado de hidratación</i>	pag. 138
<i>Pérdida y recuperación del peso corporal</i>	pag. 140
<i>Evolución de la composición corporal</i>	pag. 142
Efectos sobre sensación de sed y balance hídrico.....	pag. 145
<i>Sensación de sed y calidad de la percepción subjetiva</i>	pag. 145
<i>Balance hídrico</i>	pag. 146
<i>Excreción urinaria de solutos</i>	pag. 149
Parámetros hemáticos indicativos de hidratación	pag. 149
<i>Parámetros hematológicos</i>	pag. 150
<i>Parámetros plasmáticos</i>	pag. 152
Cambios endocrino-metabólico durante el ejercicio físico	pag. 153
<i>Parámetros hormonales</i>	pag. 154
Efectos sobre parámetros de daño muscular e inflamación	pag. 157
<i>Parámetros de daño muscular</i>	pag. 157
<i>Factores de complemento</i>	pag. 159
<i>Citoquinas</i>	pag. 160
Efectos sobre parámetros inmunológicos	pag. 162
<i>Células hemáticas de la serie blanca</i>	pag. 164
<i>Subpoblaciones linfocitarias</i>	pag. 166
Efectos sobre la Función Psico-Cognitiva. Habilidades Perceptivo-Motrices	pag. 168
<i>Tiempo de Reacción</i>	pag. 169
<i>Percepción Periférica</i>	pag. 171
CONCLUSIONES	pag. 173
REFERENCIAS	pag. 177
PROYECTO DE INVESTIGACION Y AYUDAS	pag. 199
PRODUCCIÓN DEL PROYECTO	pag. 200

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Balance térmico

Tabla 2. Producción de sudor e ingesta voluntaria de líquidos en distintas actividades deportivas realizadas en verano.

Tabla 3. Composición mineral del sudor, plasma y medio intra-celular (masa celular expresada en mmol/l).

Tabla 4. Estimación de tasas de sudoración (l/h) en sujetos de distinto peso que corren, en diferentes condiciones de temperatura.

Tabla 5. Contenido nutricional de bebidas rehidratantes.

Tabla 6a. Características de composición corporal de los sujetos estudiados.

Tabla 6b. Nivel de condición física.

Tabla 7. Parámetros de composición corporal

Tabla 8. Medidas de masa grasa.

Tabla 9. Parámetros de pliegues cutáneos

Tabla 10. Parámetros de circunferencias corporales.

Tabla 11. Variables balance hídrico y excreción urinaria.

Tabla 12. Parámetros urinarios.

Tabla 13. Excreción urinaria absoluta.

Tabla 14. Parámetros hematológicos.

Tabla 15. Datos analíticos plasmáticos.

Tabla 16. Parámetros endocrino-metabólicos.

Tabla 17. Parámetros analíticos y de saliva.

Tabla 18. Formula leucocitaria.

Tabla 19. Porcentaje de subpoblaciones linfocitarias.

Tabla 20. Celulasmina y factores 3 y 4 del complemento.

Tabla 21. Producción de citoquinas por PMBC.

Tabla 22. Variables de tiempos de reacción.

Tabla 23. Variables de percepción periférica.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tasa de producción de sudor en respuesta al ejercicio en diferentes condiciones de temperatura ambiental y velocidad de carrera.

Figura 2. Evolución de la producción de orina tras inducir deshidratación.

Figura 3. Protocolo general del estudio.

Figura 4. Estudio de la composición mediante Absorciometría de rayos X de doble energía.

Figura 5. Estudio de la composición corporal mediante impedanciometría.

Figura 6. Estudio de la composición corporal mediante antropometría.

Figura 7. Extracción de una muestra sanguínea.

Figura 8. Sujeto realizando una prueba en el Vienna Test Sistem.

Figura 9. Sujeto realizando una prueba de esfuerzo en tapiz.

Figura 10. Escala de subjetivas utilizadas. 10a (izquierda); Escala de percepción subjetiva del esfuerzo o escala de Borg. 10b (derecha); Escala de percepción de sed.

Figura 11. Hidratación con cerveza utilizando una probeta para efectuar la medición.

Figura 12. Evolución de la Frecuencia Cardíaca y la percepción subjetiva del esfuerzo medida cada 10 minutos durante toda la prueba de carrera y tras 5 minutos de recuperación. Los datos que se presentan son la media de las dos pruebas de ejercicio realizadas (antes de rehidratación).

Figura 13. Peso corporal antes del ejercicio, cambios de peso después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación solo con agua o con cerveza más agua.

Figura 14. Masa magra medida por Absorciometría de rayos X de doble energía y por Antropometría.

Figura 15. Valores absolutos del agua extracelular corporal antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación solo con agua o con cerveza más agua.

Figura 16. Volumen total de líquido ingerido y volumen de orina producido durante el periodo de rehidratación con ambos tipos de protocolos.

Figura 17. Excreción urinaria total de potasio y sodio durante la rehidratación solo con agua y la rehidratación con cerveza y agua.

Figura 18. Porcentaje de cambio producido en el volumen plasmático tras el periodo de ejercicio y tras los periodos de rehidratación solo con agua o con cerveza más agua.

Figura 19. Concentración de albúmina antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Figura 20. Concentración de urea antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Figura 21. Ratio Glucosa/Insulina antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Figura 22. Niveles de cortisol y Homona de crecimiento antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Figura 23. Niveles de lactico deshidrogenasa, Creatin-Fosfokinasa y InmunoGlobulina A antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Figura 24. Duración y tiempo de reacción en el Test de Estímulos Múltiples antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Figura 25. Tiempo de reacción periférico y campo de visión antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Figura 26. Consecuencias de la pérdida de agua en el deportista.

Figura 27. Modelo de la relación entre la intensidad de la Actividad Física, la actividad del sistema inmune y la susceptibilidad para las URTD.

AGRADECIMIENTOS

Este apartado en el formato de tesis español va al final. En el formato mexicano va al principio. Y no es porque sea yo mexicana que definiendo que vaya al principio. A continuación explico por qué... simplemente porque si esa gente, a la cuál se agradece, no hubiera “estado” las cosas no hubieran sucedido. El doctorado y la tesis -como las reacciones bioquímicas- tuvieron elementos que al interactuar y tener condiciones ideales y ciertos catalizadores, hicieron que pasaran las cosas y en este caso, sucedieran como se esperaban. ¡Gracias, muchas gracias!

A mi Dios... por quién vivo, quién me inspira, me acompaña y me sostiene.

A mis hijas Carolina y Rebeca... quienes son mi mayor regalo y orgullo!, como dijera Mario Benedetti “son mi amor, mis cómplices y todo”. Emprendieron conmigo esta aventura que tanto nos ha dado y enseñado, fungieron como motivación y sostén, incluso como asistentes de investigación... ¡Hijas, las amo y las disfruto muchísimo!

Mis amigos y compañeros EFFECTS 262, los españoles y la unión chilena-mexicana. Cada uno me enseñó y compartió muchas cosas, tanto en lo profesional como en lo personal.

Manuel, primero gracias por aceptarme en el grupo y facilitarme todo el apoyo para venirme a España. Eres el responsable de esta experiencia de vida tan grande para mi y mis hijas. Gracias por la enorme confianza y el afecto que me has mostrado. Estoy en deuda contigo. Un gran grupo requiere un gran líder... sin duda lo eres, inteligente y generoso en oportunidades para todos.

Ángel eres un líder que despierta en los que enseñas el gusto por aprender y actualizarse. Tu alegría, fuerza y conocimientos convoca y entusiasma. Un agradecimiento por todas las muestras de afecto de ti y tu familia, hacia mis hijas y a mí.

Pipi, tu autoconfianza, determinación y empeño. Enrique tu afecto, alegría y carisma. Fran tu amabilidad, tu disponibilidad y conocimientos. Joni un espíritu inteligente y creador, además de una gran calidez. Chilenos... ¡cuánta diversión juntos! Andrés, por ser el detonante de alegría, aunque hubiera momentos en que las cosas no estaban bien. Daniel, tu calidez y buen corazón puestos en hacer sentir a uno bien. Morin, siempre cercana y compartida.

Y especialmente a mis compañeros de proyecto David y Javi:

David tu deberías también estar en el rubro anterior, pero además aquí como mancuerna del proyecto. Fue verdaderamente especial haber compartido este trabajo contigo, tu carácter siempre bondadoso, tu disponibilidad al 100%, tu

eficiencia y calidad para hacer todo. Gracias junto contigo a Isa, Charo y Antonio que me abrieron su casa y me hicieron sentir como parte de la familia. Eso no se paga con nada.

Javi, las semanas que pasamos juntos en el proyecto, cuando esta “vampira”-como me bautizaste- sacaba sangre, fueron suficientes para reconocer en ti a alguien con muchos dones, yo deseo que una vez superada la lucha, los vivas con plenitud.

A todos los voluntarios de INEF y Medicina que participaron en el estudio y que con tanto entusiasmo confiaron en nosotros... mil gracias por su disponibilidad y compromiso.

Al grupo de Cerveceros Españoles y el Centro de Información Cerveza y Salud por el apoyo que brindan para el desarrollo de investigación científica y en particular para este proyecto.

A los miembros de la FCAFYD, encabezados en su momento, por Paulino Padial quién fue el gestor de este convenio UGR-UACH, que me permitió hacer el Doctorado. Gracias por tu visión, el apoyo y amistad. Y junto con él a Manuel M., Manolo D., Belen R., Belén F., Jesús y Pablo, quienes dejaron comodidades y familia, para compartírnos su experiencia y conocimiento. Especialmente Manuel Delgado, gracias por tu cercanía y el apoyo. Reconozco en ti a un maestro y persona muy valiosa. Y a los nuevos funcionarios que continuaron apoyándonos para concretar la meta. Gracias Luis y David.

A las autoridades de la UACH y la FEFCO, quienes me dieron el permiso para venir a vivir a Granada y han continuado realizando todas las gestiones de apoyo hasta este momento. Alejandro gracias por tu amistad y apoyo para cada una de las acciones que se han realizado.

Y finalmente a todos los que en nuestra querida Graná nos hicieron (a mis hijas y a mi) la vida fácil y feliz, mostrando interés, apoyo y cariño: Don José, Lourdes, Hermanas de la Pureza de María, amigas del Cole de la Sagrada Familia, especialmente a Marina y amigos del Instituto Ganivet, especialmente a Rocío, Javi y Juan.

RESUMEN

La cerveza es una bebida clásicamente utilizada en los países occidentales para calmar la sed, siendo habitual consumirla tras hacer ejercicio o deporte. La cerveza contiene fundamentalmente agua pero también alcohol lo que podría representar una desventaja y, en consecuencia, hacerla desaconsejable. Para aclarar esta cuestión se ha desarrollado la presente Tesis Doctoral en la que se ha sometido a un grupo de jóvenes, varones, sanos a un protocolo de ejercicio extenuante (60 minutos corriendo en tapiz al 60% de la capacidad aerobia máxima), en condiciones de elevada temperatura ambiental (35°C, 60% de humedad relativa). Este ejercicio determinó una pérdida hídrica de 1,5-2 litros (2-2,5% de pérdida de peso). Los sujetos realizaron este ejercicio en dos ocasiones, en orden aleatorio y separadas por tres semanas. Tras una de las pruebas, se rehidrataban con agua *ad libitum*. Tras la otra prueba, lo hacían primero con cerveza (660 ml) y después agua en la cantidad que querían. Con ello se pretende remedar lo que es habitual en sujetos que realizan ejercicio o deporte de manera recreativa. La ingesta de cerveza se limitó a una cantidad moderada, habitual y aceptable para sujetos sanos, varones y consumidores habituales. Cada sujeto, en cada prueba, se estudió: antes e inmediatamente después del ejercicio y tras dos horas de rehidratación. Se han estudiado una serie de parámetros susceptibles de verse influenciados por el ejercicio, la deshidratación/rehidratación o la ingesta de alcohol, e incluían aquellos indicativos del nivel de hidratación, composición corporal, hemato-bioquímicos, endocrino-metabólicos, inflamatorios, daño muscular, inmunológicos y psico-cognitivos (coordinación, atención, discriminación, tiempos de percepción-reacción, campo visual...). En ninguno de los parámetros analizados se ha encontrado una variación o efecto diferente ocasionado por la cerveza respecto al agua. De hecho, la ingesta de cerveza permitía recuperar las pérdidas hídricas en la misma medida que lo hace el agua, no habiéndose constatado ninguna alteración negativa por el consumo de cerveza, ni presentaban el agua ninguna ventaja. En consecuencia, según los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral, la práctica habitual de beber cerveza, en cantidad moderada, tras hacer ejercicio puede considerarse segura y eficaz en las personas que habitualmente la consumen.

ABREVIATURAS

ATP	Adenosin-trifosfato
AMPc	Adenosin-monofosfato cíclico
CPK	Creatin-Fosfokinasa
DEXA	Absorciometría de rayos X de doble energía (del inglés Dual Energy X-ray Absortimetry)
DRI	Dietary Reference Intake (Ingestas Dietéticas de Referencia)
ECG	Electrocardiograma
ETM	Error Técnico de la Medición
FC	Frecuencia Cardiaca
GMPC	Guanosin MonoPosphate
HGH	Hormona de Crecimiento (del inglés Human Growth Hormone)
IC	Intervalo de Confianza
IMC	Índice de Masa Corporal
IgA	InmunoGlobulina A
LDH	Láctico deshidrogenasa
PCR	Proteína-C-Reactiva
RPE	Escala de Percepción Subjetiva del esfuerzo (del inglés Rating of Perceived Exertion scale)
SPSS	Statistical Package for the Social Science
TEM	Test de Estímulos Múltiples
TRd	Tiempo de Reacción Discriminativo
TRm	Tiempo de Reacción Multiple
TRs	Tiempo de Reacción Simple
VAM	Velocidad Aeróbica Máxima
VCM	Volumen Corpuscular Medio
VO _{2max}	Consumo Máximo de Oxígeno

INTRODUCCION

La cerveza en la alimentación del ser humano

La evolución del ser humano y la conformación de su fisiología, tal y como es en la actualidad, es el resultado de un proceso de adaptación que ha durado millones de años. En forma de homo sapiens, la evolución ha ocurrido durante cientos de miles de años en los que nuestros antepasados han garantizado su aporte nutricional mediante la búsqueda y recolección de todas aquellas sustancias que de forma natural se podían encontrar en la naturaleza y que podían serle necesarias o beneficiosas. Esto incluía básicamente, agua, frutas, verduras, granos y tubérculos, así como animales de origen terrestre y marino a los que le fuera posible acceder. De carácter primordial en la alimentación del ser humano ha sido siempre el garantizarse un adecuado aporte de agua que posibilitara un adecuado nivel de hidratación. Tanto el agua como los distintos tipos de alimentos debían ser transportados desde el lugar donde se encontraran hasta el lugar de asentamiento. Allí, en la medida de lo posible, serían almacenados de la forma más segura posible para su posterior consumo.

Por otra parte, el ser humano ha vivido siempre en sociedad y era esta forma de vida la que aseguraba su supervivencia tanto a nivel individual como de especie. En esta sociedad, existía un primer reparto de tareas entre los hombres (que salían al exterior a procurar agua y alimentos) y las mujeres (que garantizaban el cuidado y supervivencia de la prole permaneciendo en lugares más protegidos). En estas circunstancias, asegurar el transporte y almacenamiento del agua y los alimentos recolectados era fundamental en términos individuales y colectivos. Por sus propias características, es previsible que dos elementos básicos en la alimentación como son agua y granos compartieran los mismos elementos de transporte y almacenamiento, ocurriendo seguramente ese transporte y almacenamiento de manera simultánea. Su ingestión también se haría de manera paralela, al igual que lo haría la sensación de hambre y sed.

Así, la simple mezcla y maceración del grano en el agua es, posiblemente, la forma más simple y primigenia de cocina. Con esta mezcla se aseguraban, por un lado, el aporte de agua y, por otro, el aporte de carbohidratos y el resto de sustancias nutritivas presentes en los granos, haciéndolas además más fácilmente digeribles. El almacenamiento conjunto de agua y grano (más o menos germinado), iba a traer como resultado inevitable la fermentación de este último, lo cual determinó una interesante consecuencia para la protección de la salud de los individuos: el propio proceso de

fermentación que impedía el crecimiento de gérmenes patógenos que podían contaminar el agua almacenada.

Por lo tanto, cabe pensar que el agua fermentada con el grano, rápidamente se convirtiera en un interesante medio de subsistencia para aquellas sociedades que dispusieran de la posibilidad de almacenarlos (Wolf, Bray y Popkin, 2008). Las ventajas eran múltiples: aportaba agua suficientemente libre de patógenos así como los nutrientes contenidos en el grano. La fermentación también daría lugar a la aparición de una sustancia, el alcohol, que ingerida en pequeñas cantidades puede ser metabolizada adecuadamente y alguna de sus propiedades resultar positiva. Entre estas cualidades se encontraría su aporte calórico y, sobre todo, la de conferir mayor resistencia psicológica (*resilience*) frente al estrés que supone, y ha supuesto siempre, particularmente en el pasado remoto, la simple supervivencia. Por el contrario, y como efecto claramente indeseable, estarían las consecuencias negativas de una ingesta excesiva, tanto en el corto plazo (intoxicación etílica) como en el largo plazo (adicción y daño hepático, fundamentalmente). No obstante, es preciso considerar que, como tantos otros alimentos, su disponibilidad general sería escasa con lo cual la posibilidad de intoxicación alcohólica estaría muy limitada para el conjunto de la población. La bebida fermentada por excelencia, y que sigue tanto ese patrón de uso como alimento y patrón de consumo, es la cerveza.

La cerveza, al igual que el pan, es el resultado de la mezcla de agua y cereales. De hecho, se trata sólo de una cuestión de proporciones: si se pone más harina que agua y se deja fermentar, se obtiene pan; si se pone más agua que harina y se deja fermentar, se obtiene cerveza. Es más, en algunas culturas, a la cerveza se le llama *pan líquido*. Como la disponibilidad de agua ha sido siempre superior a la de grano, es fácil entender que en términos evolutivos, la producción y consumo de ese *pan líquido* pudiera superar a la de pan convencional. Muestras arqueológicas denotan que la producción de cerveza, ha sucedido, y sucede, en la mayoría de las civilizaciones. Se considera que los sumerios fueron los primeros productores masivos de cerveza, pero se atribuye a los egipcios el que dicha producción se hiciera de forma reglada (Wolf, Bray y Popkin, 2008; Díaz-Rubio, 2009). Se sabe que los sumerios dedicaban un 40% de su producción de cereal a la elaboración de cerveza (Wolf, Bray y Popkin, 2008) y los

egipcios la consumían a diario en todas las clases sociales y en todas las edades, formando parte de su alimentación. Numerosas evidencias ponen de manifiesto que dicha bebida formaba parte de las numerosas ofrendas que se hacían a los dioses y se consumía en importantes celebraciones (Wolf, Bray y Popkin, 2008).

La producción de bebidas que genéricamente podemos denominar cerveza ha estado muy extendida entre civilizaciones y culturas. Así, las bebidas de cebada, fabricadas en Europa, pueden tener su equivalente en las cervezas de arroz y trigo de China o de maíz, producidas en América. Como indica Luque Azcona (2005), en América, antes de la colonización, se produjeron bebidas que dadas sus características, pueden ser consideradas como un tipo de cerveza. El maíz, planta que se cultivaba en México desde hace más de seis mil años, dio origen a una cerveza característica y, como se ha dicho previamente, su consumo a diferencia de lo que ocurría en otros pueblos, más que con fines de supervivencia estaba, en América, investido de un carácter sagrado. La producción de cerveza de maíz en América se vio modificada por la llegada de los españoles quienes introdujeron nuevos métodos en su fabricación.

En la actualidad, la ingesta de cerveza en los países occidentales es muy elevada, siendo una de las bebidas más consumidas. La cerveza también forma parte de la *dieta mediterránea* que, junto con otros alimentos componentes habituales de dicha dieta, ha sido reconocida como beneficiosa para la salud. El consumo moderado de bebidas fermentadas, ahora está incluido en las recomendaciones de la guía de alimentación saludable propuesta por la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (2004). Sin embargo, hay que enfatizar que el consumo que se promueve es siempre con moderación y responsabilidad por parte de adultos sanos (sin problema de alcoholismo ni ninguna otra contra-indicación para su consumo) y acompañado de una dieta completa y equilibrada. Las pautas de consumo mediterráneas, y en particular españolas, hacen que la ingesta de cerveza se realice en compañía de alimentos, en España las llamadas tapas o pinchos, y en momentos de encuentro social.

Después del agua, la cerveza en la mayor parte de los países occidentales constituye quizás la bebida más consumida entre adultos para calmar la sed. En este sentido, y en términos de práctica de actividad física, la cerveza, junto con el agua, es también una de las bebidas más utilizadas para rehidratarse tras finalizar actividades deportivas, tanto

entre deportistas amateurs como profesionales. Su consumo es habitual particularmente entre los sujetos varones en deportes de equipo como el fútbol, baloncesto o ciclismo, entre otros, así como en otros practicados de forma individual como tenis, atletismo, esquí o deportes de playa. Todo ello, lógicamente, después de haber finalizado la actividad deportiva o la sesión de entrenamiento, e insistimos siempre que las condiciones personales y sociales sean propicias para ello. En definitiva, sin entrar o no en su conveniencia, se puede afirmar que el consumo de cerveza se emplea tras practicar ejercicio, particularmente si éste se realiza en condiciones de elevada temperatura ambiental y se acompaña de profusa sudoración.

Regulación de la temperatura corporal durante el ejercicio

La actividad física, el ejercicio, conlleva un mayor o menor grado de contracción muscular que puede ser más o menos intensa, más o menos duradera o implicar una mayor o menor cantidad de masa muscular. Con la contracción muscular, se genera calor y, con ello, la necesidad de poner en marcha mecanismos que eviten la subida de la temperatura corporal y nos ayuden a liberarnos del calor generado (Wilmore y Costill, 2004).

Por otra parte, la realización de ejercicio se puede desarrollar en una amplia gama de condiciones ambientales y personales que pueden influir en la cantidad de calor que se genera y en la forma en la que intentamos liberarnos de él.

Entre las condiciones ambientales destacan por su importancia, la propia temperatura ambiental, el grado de humedad, la presión atmosférica y la exposición al sol o al viento, por citar las más importantes. Entre las condiciones personales se encuentra la intensidad del ejercicio efectuado, el número y tamaño de unidades musculares implicadas, el nivel de activación metabólica que se posea en ese momento, el propio nivel de metabolismo basal, el tamaño de la persona y su composición corporal, el tipo de vestimenta que se lleve y diversos otros factores como puede ser la cantidad de grasa o el nivel de estrés que se tenga (Wilmore y Costill, 2004). Dependiendo de todo ello, la temperatura corporal subirá más o menos y los mecanismos que se pondrán en marcha serán más o menos activos. En la tabla 1 se presentan los principales mecanismos que el organismo utiliza para mantener el equilibrio de la temperatura corporal.

Tabla 1. Balance térmico. Mecanismos por los que el organismo mantiene el equilibrio de la temperatura corporal

Equilibrio de la temperatura corporal	
Producción o Ganancia de Calor	Pérdida de Calor
Actividad metabólica / Metabolismo basal	Evaporación de sudor
Actividad muscular	Evaporación respiratoria
Aumento del nivel de aislamiento	Disminución del nivel de aislamiento
Acción dinámica específica de alimentos	Disminución de la actividad motora
Conducción / Convención	Conducción / Convención
Radiación	Radiación

El calor producido por la contracción muscular se transfiere desde los músculos activos a la sangre y, con ella, al resto del cuerpo. La elevación de la temperatura corporal interna pone en marcha una serie de mecanismos de ajuste fisiológicos cuya finalidad última es liberarse de ese exceso de calor transfiriéndolo al exterior. El intercambio de calor entre nuestro cuerpo y el medio que le rodea se rige por leyes físicas bien definidas. Cuando la temperatura ambiental es baja se favorece la disipación del calor. Cuando la temperatura ambiental es alta se dificulta esa pérdida.

La percepción que se tiene sobre la intensidad del ejercicio, y el nivel de exigencia o sobrecarga (estrés) que subjetivamente determina, se encuentra muy influenciado por la cantidad de calor que se genera y por la efectividad de los mecanismos que se ponen en marcha para liberarnos de él. Así, el aumento de temperatura corporal puede resultar subjetivamente positivo si la sensación térmica que el individuo tiene es de frío o, por el contrario, puede ser subjetivamente negativo, suponer una sobrecarga y ser un determinante de agotamiento, si la sensación que se tiene es de calor.

Mecanismos de pérdida de calor durante el ejercicio

La eficiencia energética de la actividad física suele ser baja. Sólo un 20% de la energía consumida por el músculo se transforma en energía mecánica. El resto, un 80%, se libera en forma de calor y tiene que ser disipada para mantener estable, en torno a 37°C, la temperatura corporal interna. Dos son los principales mecanismos que se ponen en marcha para perder calor: vaso-dilatación cutánea y evaporación de agua.

La vaso-dilatación cutánea favorece la transferencia de calor desde la sangre hacia el exterior a través de la piel. Este mecanismo no sólo consigue que se pierda calor de una forma global (de todo el cuerpo), sino que favorece una mayor pérdida de aquellas zonas que más calientes se encuentren en ese momento, es decir, los músculos activos. La explicación es simple: esos músculos presentan mayor vasodilatación y por tanto transfieren más calor a la sangre, del que reciben. Esa sangre va a la piel y allí se libera del calor que ha adquirido. La piel actúa pues como un radiador para los músculos activos. El alcohol determina vaso-dilatación cutánea e, ingerido en pequeña cantidad, puede ayudar a la pérdida de calor.

La pérdida de calor a través de la piel se produce por radiación y por convección. La radiación es la emisión de calor al medio. La pérdida por convección corresponde al proceso por el cual el calor pasa siempre de aquello que está más caliente a lo que está más frío. Para que los mecanismos de radiación y convección sean efectivos, es necesario que la temperatura exterior sea inferior a la temperatura corporal.

Cuanto más alta sea la temperatura ambiental, más dificultad tendrá el organismo para liberarse del calor generado e incluso, si la temperatura ambiental supera la temperatura corporal, el propio cuerpo adquirirá calor del medio. La exposición al sol o a otra fuente de calor (por ejemplo, la simple presencia de otras personas) hace que por un mecanismo de radiación, el cuerpo adquiera calor o vea disminuida su capacidad de pérdida. De igual forma, cuanto más abrigado se encuentre, cuanto más aislado se esté del medio, más se dificultará esa pérdida.

Evaporación de agua durante el ejercicio

La evaporación de agua es el mecanismo más importante de pérdida de calor que tiene el organismo humano y se produce a dos niveles. El primero y principal es la evaporación de sudor a nivel de la piel. El segundo es la evaporación de agua a nivel de las mucosas respiratorias (vapor de agua que exhalamos con la respiración).

La evaporación sustrae una importante cantidad de calor al cuerpo. Cada litro de agua evaporada es capaz de disipar 580 kcal del cuerpo. Conforme la temperatura corporal interna se eleva, la tasa de evaporación también aumenta, siendo la temperatura interna la más determinante. Así, por cada grado que aumenta la temperatura corporal interna se

produce un incremento en la tasa de sudoración que es 10-20 veces mayor que si el aumento de la temperatura corporal ocurre sólo a nivel de la piel. Esto pone de manifiesto que el mecanismo de pérdida por evaporación está fundamentalmente diseñado para perder el calor generado por el cuerpo (Wissler, 1988). La evaporación también se ve influida por otra serie de circunstancias. Así, cuando la tasa de humedad ambiental y la presión atmosférica son bajas se facilita la evaporación. Lo mismo sucede cuando el aire en contacto con la piel es continuamente renovado (como ocurre cuando hay viento o se está delante de un ventilador). Por el contrario, cuando la humedad es alta o el aire en contacto con la piel no se renueva (por ejemplo, porque la persona se encuentre vestida con prendas poco transpirables) se dificulta la evaporación y se tiene la sensación de que el nivel de sudoración es mayor, aunque en realidad lo que ocurre es que se evapora menos. No obstante, debido a la menor evaporación se pierde menos calor y, para compensar, también aumenta la tasa de sudoración. Como ya se ha indicado, otra vía de evaporación (y por tanto de pérdida de agua) es la evaporación que ocurre a nivel del sistema respiratorio. Con el ejercicio aumenta la frecuencia ventilatoria y, con ello, también la pérdida de agua en forma de vapor.

Como se puede comprender, el agua corporal y su regulación juegan un papel determinante en el equilibrio térmico, la adaptación al ejercicio y el efecto que ambos determinan sobre nuestro organismo, tanto a nivel somático como a nivel subjetivo.

Homeostasis hídrica durante el ejercicio

Se puede considerar, sin género de dudas, que el agua es más importante en la dieta que ningún otro elemento (Delgado, Gutiérrez y Castillo, 1998; Costill y Wilmore, 2004). Su importancia como nutriente, para el mantenimiento de la vida, sólo es superada por el oxígeno. De hecho, es el elemento del que se puede tener menos déficit, así, el cuerpo no tolera un ayuno hídrico mayor a cuarenta y ocho horas sin provocar trastornos graves e incluso pudiendo llegar a la muerte si se prolonga más allá de setenta y dos horas. Basta que el agua descienda un 20% para que se produzca la muerte por deshidratación.

El contenido medio de agua en el cuerpo humano está en torno al 60%. En consecuencia, la cantidad de agua que posee una persona de unos 70 kg es de unos 40-45 litros. En cualquier momento que consideremos, esta cantidad es el resultado del

denominado balance hídrico, es decir el equilibrio entre los ingresos de agua y su pérdida.

En promedio, la cantidad de líquido que captamos al día está en torno a los 2-2,5 litros. Hay una pequeña cantidad de agua que no se ingiere en forma líquida sino que está contenida en los propios alimentos, algunos con mayor contenido hídrico que otros, si bien esta cantidad no representa más del 10% de la ingesta total de agua. Otra cantidad mínima (300 ml/día), es absorbida producto de la oxidación del metabolismo de azúcares y grasa que liberan moléculas de agua, durante su oxidación. Una parte importante de la cantidad ingerida corresponde a la ingesta de agua y de bebidas que tienen un alto contenido hídrico y las cuales a menudo se prefieren por su sabor, características organolépticas, temperatura o composición.

Es preciso indicar que la ingesta de bebidas no responde forzosamente a la necesidad de calmar la sed, sino que en gran número de ocasiones se toman por la propia costumbre o por circunstancias sociales. Las bebidas ingeridas a lo largo del día (1300 ml/día) y que casi siempre se toman de una manera sistemática incluyen café, té o infusiones, zumos, leche o batidos, cerveza, vino, refrescos y sopas, quedando para el agua, como tal, una cantidad que puede ser pequeña o incluso mínima, sin que ello signifique que la ingesta de agua sea deficitaria.

En cuanto a las pérdidas de agua, las vías por la que se pierde, varían en función de la persona, la actividad que realiza, sus circunstancias personales y el medio ambiente en el que se mueve. Se puede decir que para una persona normal, que realiza una actividad física media-baja y que se encuentra a una temperatura ambiental de unos 20° C, una parte importante de esa pérdida (algo más de un litro) se elimina por la orina. En torno a otro litro se pierde por el sudor y vapor exhalado con la respiración. El resto (unos 100-150 ml) se pierde por las heces y la pequeña cantidad que se pierde con las diversas secreciones corporales. En cualquier caso, esas cantidades son variables debiendo considerar que las pérdidas por evaporación (sudor, respiración) son obligadas, y la pérdida por orina (y heces) se ajusta en consecuencia. Es decir, si se pierde mucho por el sudor, se orina menos. También las heces se compactan por la mayor absorción de agua que se produce a nivel del colon.

El riñón es pues el órgano que ajusta la eliminación de agua por la orina para intentar mantener el balance hídrico, produciendo una cantidad de orina en un rango muy amplio que va de 20 a 1000 ml/h. Las pérdidas renales obligatorias, son necesarias para la excreción de sustancias hidrosolubles, como es el caso de la urea (cuando se produce un metabolismo proteico) o el exceso de minerales (cuando hay una carga de solutos). Las pérdidas renales facultativas van en relación al ajuste que hace el riñón para eliminar el agua que se ha ingerido y que supera los requerimientos hídricos del momento. Cuando hay un déficit de líquidos, la orina está muy concentrada (y es de color intenso) para ahorrar la máxima cantidad de agua posible; por el contrario cuando hay exceso de agua, la orina se encuentra muy diluida para eliminar el exceso de agua que tenga el organismo.

Cuando las pérdidas han sido importantes, por ejemplo, por una mayor sudoración, disminuye tanto el flujo renal, como la tasa de filtración glomerular. Esto ocurre como un mecanismo anticipativo de respuesta al ejercicio y al calor ambiental. En estas condiciones, si el sujeto ingiere una elevada cantidad de líquidos de manera voluntaria (por ejemplo, con el objeto de prevenir la deshidratación), se puede encontrar con la situación contraria, es decir la incapacidad del riñón para eliminar el exceso y, en consecuencia, provocar un estado de hiperhidratación como se discute más adelante.

Las entradas de líquidos en el organismo han de estar siempre de acuerdo a las salidas del mismo, y compensarlas. Esto es particularmente importante cuando se realiza ejercicio físico, lo cual produce un cambio en la dinámica normal de captación y egreso del agua corporal.

Distribución del agua en el organismo

El agua orgánica total se encuentra en diferentes compartimientos. Aproximadamente el 60% de ella está contenida en las células y se denomina líquido intracelular. El resto se localiza fuera de ellas y se denomina líquido extracelular. A su vez, el líquido extracelular está subdividido en varios compartimientos más pequeños, de los cuales el más importante es el plasma (7,5 %) y el líquido intersticial que contiene el 20% del agua orgánica total, y comprende los fluidos entre las células. La medición de los compartimientos de líquido orgánico no puede ser directa, pero se pueden obtener estimaciones útiles con fines clínicos y experimentales mediante métodos de dilución.

Estos métodos usan sustancias marcadoras que se distribuyen en un compartimento de líquido orgánico específico. Igualmente se pueden emplear otros métodos que hacen estimaciones de forma indirecta.

La sensación de sed. Papel fisiológico

Se sabe que al producirse pérdidas hídricas e hipertonicidad del líquido extracelular, se desencadena la sensación de sed. Esta no siempre es un indicador fiable para valorar un desbalance entre la ingesta y la pérdida de agua, ya que varía de una personas a otras, se trata de una sensación subjetiva y, a veces, aparece cuando se produce ya un aumento entre el 2 y 3% de la osmolaridad plasmática, es decir cuándo ya se está ligeramente deshidratado (González-Gross, 2006). En cualquier caso, la sensación de sed, implica la necesidad compulsiva de beber. Esa sensación se potencia si, además del aumento de la osmolaridad, existe una disminución del volumen plasmático. Con la ingesta de líquido, el objetivo primordial que se persigue es reponer las pérdidas hídricas. Además, la menor temperatura que suele tener la propia bebida contribuye a rebajar la temperatura corporal. Esto es importante porque la regulación de la temperatura corporal prima sobre la regulación del metabolismo hídrico.

Es un hecho bien conocido que lo que se bebe en función de la apetencia o sed que se tiene, rara vez se corresponde con lo que se pierde o con lo que son las necesidades reales (González Gross, 2006). Así, cuando se bebe un líquido no sólo se bebe para calmar la sed sino también, y sobre todo, porque resulta agradable al paladar y por su temperatura (si se tiene calor se prefieren bebidas frías y si se tiene frío se prefieren bebidas calientes). Es más, la propia sed se calma incluso antes de que el agua contenida en el líquido ingerido llegue a absorberse a nivel intestinal. En la mucosa bucal existen receptores para el nivel de humedad y, sobre todo, en la pared del estómago existen receptores que perciben el grado de distensión de las paredes y que, cuando se estimulan, consiguen eliminar la sensación de sed. Esto explica por qué cuando se tiene mucha sed y se bebe, se calma temporalmente la sensación de sed con tan sólo un vaso o incluso unos tragos de agua, siendo evidente que la cantidad bebida corresponde a una cantidad mucho menor que la cantidad perdida y que, incluso, ni siquiera ha sido absorbida sino que todavía se encuentra en el propio estómago.

Pérdidas hídricas por sudoración

La regulación de la temperatura corporal prevalece sobre la regulación del metabolismo hídrico. Por tanto, la producción de sudor prima sobre el equilibrio hídrico. De hecho, las pérdidas de agua por el sudor son importantes (figura 1). Para una actividad física moderada, la tasa de producción de sudor está en torno a 1 l/h, pudiendo llegar hasta los 4-5 l/h con ejercicios más intensos realizados en condiciones de elevada temperatura ambiental. Dado el riesgo que esas pérdidas de agua suponen, han de ser rápidamente repuestas con la administración de líquidos que, por distintos motivos, resulten agradables al paladar.

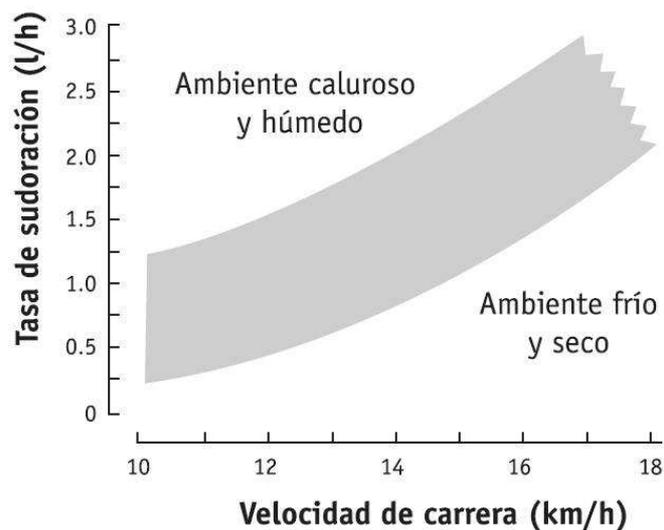


Figura 1. Tasa de producción de sudor en respuesta al ejercicio en diferentes condiciones de temperatura ambiental y velocidad de carrera (Modificado de Sawka y Pandolf 1990)

El sudor es fundamentalmente agua que, al evaporarse, sustrae calor al cuerpo y contribuye a disminuir la temperatura corporal. El aumento de la temperatura corporal interna es la principal señal que pone en marcha la vasodilatación cutánea y la producción de sudor. La propia vasodilatación favorece la producción de sudor. Diversas hormonas y metabolitos que se producen en respuesta al ejercicio intervienen en el inicio del proceso.

La producción de sudor se realiza por dos tipos de glándulas: las glándulas ecrinas y las glándulas apocrinas. Las primeras producen el sudor que tiene efecto termo-regulador; se trata de un sudor muy acuoso. El número de glándulas ecrinas es de varios millones y cubren la superficie corporal más descubierta de pelo. Las glándulas apocrinas producen un sudor menos acuoso y con más olor, siendo el que se produce en respuesta al estrés.

La realización de actividad física expone al individuo a una serie de factores que influyen su nivel de sudoración. Entre estos factores se encuentran la duración e intensidad del ejercicio, las condiciones medio-ambientales y el tipo de vestimenta que lleva. Características individuales tales como la edad, el peso, predisposición genética, eficiencia energética o nivel de aclimatación al calor, influyen el nivel de producción de sudor en respuesta a una determinada actividad. En consecuencia, las pérdidas sudorales que ésta determine, van a ser muy diferentes entre individuos y entre actividades, incluso cuando exista similitud entre unos y otras.

Tabla 2. Producción de sudor e ingesta voluntaria de líquidos en distintas actividades deportivas realizadas en verano

Actividad	Tasa de sudoración (Litros/hora)	Ingesta de líquidos (Litros/hora)
Correr	1,5	0,5
Tenis	1,6	1,1
Squash	2,4	1,0
Fútbol	1,5	0,6
Baloncesto	1,4	0,8
Remo	2,0	1,0
Natación	0,4	0,4

(Modificado de Sawka et al. 2007)

En la tabla 2 se presentan, a título indicativo, las tasas de sudoración de distintas actividades deportivas, así como las cantidades de bebida que habitualmente se toman de forma voluntaria en esas actividades. Como se aprecia, la tasa de sudoración oscila entre los 0,5 y los 2,5 l/h, existiendo una amplia variabilidad entre individuos, actividad

deportiva y condiciones climáticas. La ingesta voluntaria de líquidos suele ser inferior a las pérdidas.

La aclimatación al calor aumenta la capacidad del individuo para producir sudor y que esta producción se mantenga durante más tiempo (Sawka, Wenger y Pandolf, 1996; Sawka y Young, 2005). Los sujetos aclimatados pueden alcanzar tasas de producción de sudor por encima de 2 l/h. Si todo ese sudor se evapora, la cantidad de calor extraída al cuerpo superaría las 1100 kcalorías por hora, lo que representa una cantidad importante (Morimoto, 2001). También la favorece, aunque de una forma más modesta, el entrenamiento aeróbico (Sawka, Wenger y Pandolf, 1996; Sawka y Young, 2005). Por el contrario, una piel húmeda y la deshidratación disminuyen la tasa de producción de sudor (Sawka, Wenger y Pandolf, 1996).

No todo el sudor producido es eficiente para liberar de calor al cuerpo. Tan sólo el que se evapora lo es. Cuando la humedad es muy alta, la evaporación es menor. Para compensar la menor pérdida de calor, el organismo aumenta la tasa de producción de sudor y éste empieza a gotear. Tampoco es eficiente el sudor que se seca. Sin embargo, tanto el sudor que gotea como el que se seca, contribuyen a la pérdida de agua y, en consecuencia, a la deshidratación. Por el contrario, el aire en contacto con la piel, tanto si es por viento como si es por la propia velocidad del desplazamiento (como ocurre corriendo o en bicicleta), favorecen la evaporación, disminuyendo la percepción de que se está sudando y aumentando la efectividad de la disipación de calor.

Composición del sudor

Con el sudor, se pierde fundamentalmente agua, pero también una cierta cantidad de electrolitos y sales minerales. El sudor es un trasudado del plasma, en consecuencia, en su composición intervienen la mayoría de los componentes plasmáticos aunque en menor concentración. En la tabla 3 se presenta la composición mineral del sudor, el plasma y el medio intracelular.

Tabla 3. Composición mineral del sudor, plasma y medio intra-celular (masa celular) expresada en mmol/l

	Sodio	Potasio	Cloro	Magnesio	Calcio
Sudor	20-80	5-25	10-70	1-4	3-4
Plasma	135-145	3,5-5	100-110	1,5-2	4,4-5,2
Masa celular	10	148	2	30-40	0,2

Como se aprecia, cloro y sodio son importantes componentes del sudor pero en términos relativos al plasma, potasio y magnesio (principales iones intracelulares), se encuentran en mayor proporción. Así, el potasio alcanza en el sudor, una concentración de 20 mEq/l mientras que la concentración en plasma no supera los 5 mEq/l. En consecuencia, en términos relativos al plasma, la pérdida de potasio por el sudor puede ser importante. Las pérdidas de sodio y cloro, al estar presentes en el sudor en alta proporción, también son significativas. En cualquier caso, al perder sudor se pierde fundamentalmente agua y al ser el sudor hipotónico con respecto al plasma, la pérdida de electrolitos por sudor es menor que la pérdida de agua. Todo ello determina que ante pérdidas profusas de sudor, dichos electrolitos se concentren en los distintos compartimentos orgánicos. Lo que interesa primariamente es pues la reposición hídrica.

Respecto a otros componentes del plasma con interés para el metabolismo, la glucosa, tiene en el sudor una concentración muy baja, unos 10 mg/dl, siendo la concentración en plasma de unos 90 mg/dl. En el sudor hay también una cierta cantidad de proteínas, en torno a 100 mg/dl, también muy por debajo de los 7 g/dl del plasma.

Factores que influyen en la composición del sudor

La composición del sudor y la concentración de los distintos componentes que presenta están influenciadas por diversas circunstancias. Así, la concentración de sodio en sudor está en torno a 30-40 mEq/l, con un rango entre 20 y 80 mEq/l. La cantidad individual varía en función de la tasa de producción, las características genéticas del sujeto, la dieta y su grado de aclimatización al calor (Sawka *et al.*, 2007). En cualquier caso, esta concentración es muy inferior a la que presenta el plasma. La concentración de potasio

está en torno a 5 mEq/l, con un rango entre 5 y 25 mEq/l, que es similar, y puede llegar a ser superior, a la del plasma. La concentración de cloro es de unos 30 mEq/l (rango 10-70 mEq/l). La concentración de electrolitos por el sudor no parece verse influenciada por el sexo, estado madurativo o la edad. La deshidratación determina que aumente la concentración sudoral de sodio y cloro (Sawka *et al.*, 2007).

La tasa de producción de sudor afecta su composición mineral. Así, cuando la tasa de producción de sudor es baja, su concentración de electrolitos es también baja debido a que el sudor retenido en las glándulas sudoríparas sufre una mayor reabsorción. Por el contrario, cuando la tasa de sudoración es profusa hay poco tiempo para que se produzca esa reabsorción y la pérdida de los mismos aumenta.

La aclimatación, por el contrario, disminuye la concentración de electrolitos. Así, los sujetos aclimatados al calor presentan menor concentración de electrolitos (incluso reducciones superiores al 50%) para cualquier tasa de producción de sudor (Sawka *et al.*, 2007). La concentración de sodio en el sudor de una persona aclimatada puede estar en torno a los 10-15 mEq/l, mientras que en las mismas circunstancias para una persona no aclimatada pueden estar en torno a los 50 mEq/l o más. En términos absolutos, una persona aclimatada puede perder de 15 a 30 g de sal por día los cuales, tras aclimatación, pueden reducirse a 3-5 g por día, aunque en esto influye no sólo el grado de aclimatación sino también el nivel de hidratación que se posea, el tipo de alimentación y la propia ingesta de sales minerales. La menor pérdida de electrolitos en las personas aclimatadas, se debe a la mayor eficiencia de reabsorción en los túbulos de las glándulas sudoríparas. No obstante, las diferencias se atenúan conforme aumenta la tasa de producción de sudor, aunque siempre se mantienen en cierta medida. Esto es un efecto de la mayor secreción de aldosterona, una hormona cuya principal función es la de hacer que se pierda menos sodio. Cuando existe disminución de la volemia (por ejemplo, por deshidratación) se produce aldosterona que no sólo retiene sodio a todos los niveles posibles sino que también hace que se pierda potasio, por tanto hay interés en compensar la pérdida de este último.

Importancia de la hidratación en el ejercicio y la práctica deportiva

Durante el ejercicio, se pueden producir a través del sudor grandes pérdidas de agua y electrolitos que es preciso reponer. Estas pérdidas se suman al propio desgaste metabólico que ocasiona el ejercicio. La forma más frecuente de deshidratación durante la práctica de la actividad física, es la de déficit de agua sin que se acompañe de una pérdida proporcional de sales minerales. Poseer un adecuado nivel de hidratación es fundamental para alcanzar un óptimo rendimiento, facilitar la recuperación y garantizar la salud.

La pérdida de importantes cantidades de agua e incluso la deshidratación, son posibilidades reales que pueden ocurrir cuando se realiza ejercicio expuestos a elevada temperatura ambiental. Sin embargo, en la actualidad se está perfectamente concienciado de este problema, particularmente en el mundo deportivo. Incluso, se promueven campañas publicitarias institucionales dirigidas al público general, que fomentan el consumo de líquidos cuando se prevén olas de calor. La disponibilidad de abundante y suficiente cantidad de agua y otras bebidas, particularmente en instalaciones deportivas y espacios donde se practica actividad física, no constituye un factor limitante para una adecuada rehidratación. Se puede considerar, por tanto, que el problema de la hidratación tras la práctica de actividad física constituye en la actualidad un problema relativo, al contrario de lo que ha podido ser en el pasado.

Por otra parte, cualquier persona que vaya a realizar una actividad físico-deportiva importante la suele acometer con un buen nivel de hidratación. Además, la posible deshidratación que pueda producirse no se produce en poco tiempo, sino que se establece a lo largo de un periodo prolongado de tiempo de, al menos, horas de duración.

No obstante, en algunas situaciones, se inicia la actividad física con un cierto grado de deshidratación bien de manera intencional o bien de manera inadvertida. Lo primero ocurre en deportes en los que se compite por categoría de peso (por ejemplo, deportes de lucha, levantamiento de peso) en los cuales el deportista puede tener un peso por encima de aquel exigible en la categoría en la que pretende competir, y para alcanzarlo, se somete a un programa de pérdida de peso que puede incluir un importante nivel de

pérdida de agua (Gutiérrez, Mesa, Ruiz, Chiroso y Castillo, 2003). Lo mismo cabe decir de aquellos deportes en los que el peso puede significar un lastre importante que limite las posibilidades de éxito, si bien estos casos son menos frecuentes. También puede ser el caso en aquellos deportistas que se someten a sesiones de entrenamiento o actividad en donde el tiempo transcurrido entre una y otra es insuficiente para conseguir un adecuado grado de rehidratación. Por último, si la persona ha tenido vómitos o diarrea, tiene diabetes o toma diuréticos, el nivel de hidratación al inicio de la actividad puede no ser suficiente.

Factores que influyen en el nivel de hidratación

Dieta. Una dieta adecuada es fundamental para asegurar un buen nivel de hidratación. La ingesta de alimento promueve la ingesta de líquidos, y viceversa. Con las comidas se bebe una importante cantidad de líquidos, y los alimentos que habitualmente se consumen en una dieta variada aportan una cantidad de sales minerales suficientes para reponer las pérdidas que se producen con el sudor. El contenido en macronutrientes (carbohidratos, proteínas, grasas) parece ser de escasa influencia en las necesidades hídricas y su regulación (Sawka *et al.*, 2007).

Género. En general, las mujeres sudan menos que los hombres. Esto cabe atribuirlo a su menor masa corporal y menor nivel de activación metabólica para un mismo tipo de ejercicio. Las diferencias en la retención de agua y electrolitos entre hombres y mujeres son pequeñas pero la respuesta diurética a una sobrecarga de agua es mayor en la mujer lo que sugiere que intercambian agua más rápido (Claybaugh, Sato, Crosswhite y Hassell, 2000). Así, las mujeres presentan menores respuestas de hormona antidiurética ante estímulos osmóticos lo que puede traducirse en mayores pérdidas de agua y electrolitos (Stachenfeld, Splenser, Calzone, Taylor, y Keefe, 2001). Paradójicamente, los estrógenos aumentan la liberación de ADH y tanto los estrógenos como la progesterona aumentan la retención de agua y electrolitos.

Edad. Las personas mayores se encuentran por lo general bien hidratadas. Sin embargo, es bien conocida la menor intensidad de la sensación de sed que se produce con la edad, lo que las hace más susceptibles a la deshidratación. Por otro lado, las personas de edad presentan una mayor osmolaridad plasmática y tardan más tiempo en compensar su homeostasis hidroelectrolítica en respuesta tanto a la deprivación de agua como al

ejercicio, aunque al final la llegan a compensar de manera satisfactoria. También tardan más en excretar una sobrecarga de líquidos, lo que puede elevar la presión arterial. En este sentido, hay que prestar especial atención a que un excesivo aporte de sodio va a agravar el problema. En gran medida, la lentitud en la respuesta de compensación, tanto ante el déficit como el exceso de agua, cabe atribuirlo a la menor tasa de filtración glomerular debido al progresivo descenso de nefronas funcionantes que se produce con la edad. En consecuencia, aunque las personas mayores deben ser animadas a beber durante y después de la práctica de actividad física, hay que apelar a la prudencia y ser conscientes del riesgo tanto de hiponatremia como de hipertensión, dado que tardan más en excretar el exceso tanto de agua como de sodio. Por último, la producción de sudor en respuesta a un aumento de temperatura corporal disminuye con la edad, lo que hace que las personas mayores tengan una menor tolerancia para hacer ejercicio o trabajar en condiciones de elevada temperatura ambiental. Los niños presentan menores tasas de producción de sudor que los adultos con valores que raramente exceden los 400 ml/hora. El contenido en electrolitos del sudor es también algo menor.

Condición física. Una buena condición física, medida en términos de capacidad aerobia, determina mejor tolerancia al calor y menor nivel de deshidratación en respuesta al ejercicio. La mejora de la condición física por medio de un entrenamiento adecuado aumenta la tolerancia al calor y hace que el aumento de la temperatura interna en respuesta al ejercicio sea también menor (Cheung, McLellan y Tenaglia, 2000). Incluso en situación de reposo o de actividad sedentaria en un ambiente caluroso, la tasa de sudoración y el nivel de vasodilatación cutánea se relacionan de manera directa con la capacidad aerobia y, de esta forma, se consigue mejor tolerancia al calor. Por el contrario, la mala condición física, la enfermedad y la falta de sueño disminuyen la tolerancia al calor y favorecen la deshidratación.

Rehidratación tras la práctica de ejercicio

Realizar un adecuado proceso de rehidratación tras la realización de actividad física en ambiente caluroso es fundamental para preservar la salud, garantizar el bienestar y conseguir que esa actividad resulte placentera.

En condiciones normales de temperatura ambiental, y con un nivel de ejercicio medio, las necesidades hídricas se pueden estimar en torno a 2,5 l/día. Si aumenta la temperatura o la actividad metabólica, este valor sube a 3,5 l/día, y más aún si se realiza ejercicio. Esto implica la necesidad de aportar ese volumen de líquido en la forma que se estime más efectiva y aceptable para el sujeto, lo que normalmente pasa por la toma de distintos tipos de bebidas. Se puede considerar que, en condiciones normales, las pérdidas hidrominerales que siguen a una importante sudoración son adecuadamente repuestas en las 8-24 horas siguientes, siempre que exista el adecuado aporte de líquidos y alimentos.

En términos generales, el proceso de rehidratación viene determinado por la sensación de sed, pero la sed es un fenómeno subjetivo y por tanto sujeto a importantes variaciones entre individuos y circunstancias. Ante un mismo esfuerzo, en las mismas condiciones ambientales, las pérdidas hídricas pueden diferir de un sujeto a otro pero ante pérdidas hídricas similares la sensación de sed puede ser diferente y, por consiguiente, la ingesta de líquidos también. En esto influyen muchos factores y, entre ellos, el propio líquido que se ingiera. De hecho, la sensación de sed y la facilidad con la que se calma no representan una buena indicación del nivel de deshidratación que se tiene ni de la eficacia de la rehidratación alcanzada. Esto es preciso tomarlo en consideración para garantizar una adecuada reposición de líquidos.

Los problemas ligados a una inadecuada rehidratación pueden ser tanto por defecto como por exceso. En este sentido, dado el importante grado de concienciación que existe sobre el interés de estar bien hidratado, es relativamente frecuente que los deportistas tanto profesionales como amateurs se rehidraten por encima de sus necesidades reales dando lugar a hemodilución e hiponatremia lo que constituye otro problema a tener en cuenta, y a evitar, como se discute más adelante (Ortega Porcel, Ruiz Ruiz, Castillo Garzón y Gutiérrez Saínz, 2004).

Cuando las sesiones de ejercicio son frecuentes y las pérdidas de sudor abundantes, y dado que el efecto de la deshidratación es acumulativo, es esencial disponer de un adecuado programa de rehidratación. Este efecto acumulativo cobra especial trascendencia si se piensa que son necesarios de 2 a 3 días para que una persona que ha perdido 5-6% de su peso corporal se rehidrate por completo. Por otra parte, un 3% de

pérdida de peso corporal determina ya una reducción de la tasa de sudoración y una disminución del flujo sanguíneo cutáneo, lo cual pone en riesgo la capacidad de adaptación al aumento de la temperatura corporal por lo que hay interés en estar bien hidratado. Recientemente se han publicado tanto a nivel nacional (Palacios *et al.*, 2008) como internacional (Sawka *et al.*, 2007) importantes y exhaustivos documentos de consenso sobre bebidas para deportistas. Esos documentos han sido tomados en consideración en la elaboración de la presente tesis.

Pautas de hidratación antes, durante y después del ejercicio

Antes del ejercicio: prehidratación

El objetivo que se persigue con la prehidratación es simplemente que el sujeto comience la actividad que va a realizar estando bien hidratado y con unos niveles de electrolitos plasmáticos dentro de la normalidad. El objetivo no es ni la sobrehidratación ni la sobrecarga mineral. Si se trata de una persona que come y bebe normalmente, o si se trata de un deportista que se ha recuperado adecuadamente desde la última sesión de ejercicio, ese estado de euhidratación puede considerarse alcanzado (Sawka *et al.*, 2007).

Por el contrario, si se trata de una persona que arrastra un déficit sustancial de agua y electrolitos y no ha tenido tiempo de reponerlo o se sospecha que no va a tenerlo antes de una nueva sesión de ejercicio, sí que es necesario establecer un adecuado programa de prehidratación que asegure una buena situación homeostática antes de enfrentarse a nuevas pérdidas. Para ello, el sujeto debe beber lentamente a razón de 5-7 ml/kg de peso durante las 4 horas previas a la nueva sesión de ejercicio. Si la producción de orina es escasa, o es muy oscura y concentrada, se puede incrementar hasta 8-12 ml/kg en las dos horas previas. De esta forma, hay suficiente tiempo para normalizar la producción de orina antes de la nueva sesión de ejercicio. Respecto al aporte de sales minerales, una pequeña porción de alimentos que contengan algo de sal es suficiente, alternativamente se puede recurrir al consumo de bebidas que contengan una pequeña cantidad de electrolitos (Sawka *et al.*, 2007; Palacios *et al.*, 2008).

No tiene sentido hiperhidratar, administrar sales, ni usar sustancias que retengan líquidos ya que no determinan ninguna ventaja fisiológica sobre el estado de

euhidratación (Sawka *et al.*, 2007) y, por el contrario, van a forzar la diuresis y replecionarán la vejiga llevando incluso al deseo de orinar en pleno desarrollo del ejercicio o, peor aún, la competición. Por otro lado, existe el riesgo de hiperhidratación, particularmente si la ingesta de líquido continúa durante el periodo de actividad física. Aumentar la palatabilidad de la bebida es una forma de ayudar a que se mantenga un adecuado nivel de ingesta de líquido. Dicha palatabilidad se influencia por varios factores que incluyen la temperatura, sabor, presencia de burbujas, etc. pero esto varía mucho entre individuos y culturas. Otro factor es la temperatura. Para el agua, se prefiere una temperatura entre 15° y 21°C, otras bebidas se prefieren a temperaturas más bajas.

Durante el ejercicio

El objetivo que se persigue con la hidratación durante el ejercicio es prevenir una deshidratación excesiva (mayor del 2% del peso corporal) y evitar la aparición de cambios hemáticos, todo lo cual puede afectar el rendimiento. La cantidad total, y la velocidad con la que deben administrarse los líquidos, depende de la tasa de sudoración del individuo, duración del ejercicio y posibilidad de beber. Se recomienda beber periódicamente pero hay que estar atento y acompañar la ingesta a las pérdidas, particularmente si se trata de ejercicios de larga duración. Cuanto más prolongado sea el ejercicio, más riesgo existe de que se produzcan efectos acumulativos o que aparezcan desfases entre las necesidades de líquidos y su aporte, lo que puede traducirse tanto en deshidratación como en hiperhidratación (Sawka *et al.*, 2007).

Resulta difícil recomendar una pauta específica de líquidos y electrolitos dada la variedad existente en los tipos de ejercicio, circunstancias en los que se desarrolla, y variedad de individuos y características personales. En la tabla 4 se exponen de manera aproximada, las tasas de sudoración que presentan sujetos de distinto tamaño, corriendo a velocidades también variables y en condiciones de baja (18°C) y alta (28°C) temperatura ambiental. Las tasas de sudoración van de 0,4 a 1,8 l/h, siendo previsible que, tanto para un sujeto en particular como para un grupo, las tasas de sudoración varíen siguiendo una distribución normal. En consecuencia, se recomienda el control de peso como índice de deshidratación en distintas condiciones de entrenamiento para así mejor predecir cuál será el comportamiento ante una actividad física concreta y poder

reponer las pérdidas de una manera más específica, aunque esto suele ser complicado y poco útil en la práctica.

Tabla 4. Estimación de tasas de sudoración (l/h) en sujetos de distintos peso que corren, en diferentes condiciones de temperatura ambiente, a las velocidades que se indican

Peso (kg)	Temperatura Ambiente	Velocidad de Carrera			
		8,5 km/h	10 km/h	12,5 km/h	15 km/h
50	18°C	0,43	0,53	0,69	0,86
	28°C	0,52	0,62	0,79	0,96
70	18°C	0,65	0,79	1,02	1,25
	28°C	0,75	0,89	1,12	1,36
90	18°C	0,86	1,04	1,34	1,64
	28°C	0,97	1,15	1,46	1,76

Un posible esquema de rehidratación durante el ejercicio, para una persona que realiza una actividad de resistencia de larga duración y que empieza bien hidratado, puede ser beber de 0,4-0,8 l/h, correspondiendo la zona más alta del rango a sujetos de mayor tamaño, que hacen un mayor esfuerzo y/o se encuentran en condiciones de elevada temperatura ambiental. La zona más baja del rango es para sujetos más pequeños, que hacen menos esfuerzo y/o se encuentran a baja temperatura ambiental. Para sujetos de pequeño tamaño, beber a razón de 0,8 l/h da lugar a un sobre-consumo que le lleva a ganar peso por hiperhidratación. Para sujetos de gran tamaño, beber a razón de 0,4 l/h da lugar a una deshidratación excesiva en torno al 3% del peso corporal. En consecuencia, resulta poco apropiado usar una única tasa de reemplazamiento en todos los sujetos, aunque realicen el mismo tipo de actividad.

Después del ejercicio

Tras el ejercicio, el objetivo que se persigue es reponer adecuadamente el déficit de líquidos y, si existe, también el de electrolitos y otras sustancias que se hayan podido consumir. La agresividad del proceso depende de la velocidad con la que se quiera conseguir la rehidratación y la magnitud del déficit. Si las posibilidades y el tiempo de

que se dispone lo permiten, el consumo de comidas y snacks normales con el suficiente volumen de líquido van a conseguir de manera efectiva normalizar el equilibrio hidroelectrolítico, siempre que los alimentos consumidos contengan la suficiente cantidad de sodio y potasio para reemplazar las pérdidas. Si el nivel de deshidratación es elevado y se dispone de poco tiempo para recuperarlo (menos de 12h), sería necesaria una pauta de rehidratación más agresiva.

No reemplazar suficientemente las pérdidas electrolíticas va a impedir la vuelta a un estado de euhidratación a la vez que estimulará una producción excesiva de orina. El consumo de electrolitos durante el periodo de recuperación ayudará a retener los líquidos ingeridos. Las pérdidas minerales son más difíciles de evaluar que las pérdidas de agua y es bien sabido que esas pérdidas varían mucho de unos sujetos a otros. Las bebidas deportivas y las bebidas clásicamente utilizadas para calmar la sed pueden ser de utilidad. Por otra parte, la ingesta de alimentos pueden aportar los electrolitos que se necesitan.

Cuando se pretenda alcanzar una rápida y completa recuperación se deberían beber en torno a 1,5 l por cada kilogramo de peso perdido (Sawka *et al.*, 2007). El medio litro de exceso de volumen ingerido es necesario para compensar el aumento de la producción de orina que sigue al rápido consumo de bebidas. En consecuencia, para asegurar una adecuada retención hídrica, y siempre que sea posible, la rehidratación debería producirse a lo largo de un prolongado periodo de tiempo.

Cuando el nivel de deshidratación es importante (superior al 7% del peso corporal) y el sujeto presenta además náuseas, vómitos, diarrea o, por alguna otra razón, no puede o tiene dificultades para beber, es preciso recurrir a la reposición hidro-mineral por vía intravenosa. A excepción de estos supuestos, la reposición intravenosa no presenta otras ventajas sobre la simple bebida de líquidos.

En resumen, si el tiempo lo permite, el consumo de bebidas y comidas habituales va a ser capaz de restaurar un adecuado nivel de hidratación. La cantidad de bebida debe ser de aproximadamente 1,5 l por cada kg de peso perdido.

Hiperhidratación: un importante problema a evitar

Los problemas ligados a una inadecuada reposición hídrica pueden ser tanto por deshidratación como por sobrehidratación. Aunque la primera es la que más atención recibe, la segunda resulta más peligrosa en términos deportivos. Así, mientras que la deshidratación puede disminuir el rendimiento y contribuir al agotamiento por calor, la hiperhidratación puede condicionar hiponatremia e hipopotasemia que pueden llegar a ser mortales.

La hiperhidratación se produce cuando se bebe en exceso, particularmente de manera preventiva, antes de que se hayan producido las pérdidas por sudor y en un intento por anticiparse y neutralizarlas. Esto tiene consecuencias negativas pues causa hemodilución, hiponatremia, hipopotasemia y aumento de la producción de orina lo cual se agrava si la ingesta no es sólo de agua sino que se acompaña de agentes que favorezcan su retención tales como sales minerales o glicerol. En estos casos, la mayor producción de orina se mantiene durante más tiempo (Ortega Porcel, Ruiz Ruiz, Castillo Garzón y Gutiérrez Sainz, 2004). La hiperhidratación no confiere ninguna ventaja termoreguladora, además, sus graves consecuencias hacen desaconsejable su práctica.

La hiponatremia (e hipopotasemia) asociada al ejercicio y secundaria a la hiperhidratación es una alteración bien descrita en la literatura y que es objeto de creciente atención (Lorraine-Lichtenstein, Albert y Hjelmqvist, 2008; Ortega Porcel, Ruiz Ruiz, Castillo Garzón y Gutiérrez Sainz, 2004). De hecho, se trata de un proceso grave que con frecuencia requiere atención médica hospitalaria y que en ocasiones ha originado la muerte de personas que, de manera competitiva o recreacional, participaban en actividades que requerían un esfuerzo físico importante tales como una maratón y otras pruebas de resistencia. Se trata de un síndrome dilucional que se produce cuando la ingesta de líquidos supera a las pérdidas. Lo que parece más evidente es el descenso de la concentración de sodio pero también se produce hemodilución de otros electrolitos y componentes plasmáticos. Las manifestaciones clínicas aparecen cuando la concentración de sodio desciende rápidamente a valores en torno a 130 mmol/l.

Como cabía esperar, cuanto más rápido desciende, más bajo llega y más tiempo permanece disminuida, mayor es el riesgo de que se produzca encefalopatía dilucional y

edema pulmonar. El mecanismo es el trasvase de agua desde el espacio plasmático al espacio intracelular atraída por la mayor osmolaridad de este último. Aunque hay sujetos que han sobrevivido a valores de sodio de tan sólo 110 mmol/l, otros han muerto con valores de 120 mmol/l. Los síntomas de este síndrome dilucional incluyen cefalea, vómitos, edema de manos y pies, fatiga excesiva, intranquilidad, confusión y desorientación, todo lo cual cabe ser atribuido a la encefalopatía en progresión. A esto se suma el edema pulmonar, que dificulta la respiración. Si el cuadro progresa se producen convulsiones, coma y muerte.

El hecho de que el sujeto presente hiponatremia, no excluye que simultáneamente tenga cierto grado de deshidratación. Se puede afirmar que la hiponatremia sintomática en eventos que duran menos de 4 horas ocurre como consecuencia del exceso en la ingesta de bebida antes, durante y después de la prueba. En ejercicios de más larga duración, las pérdidas de electrolitos pueden explicar la hiponatremia aunque también es necesario que se produzca una importante rehidratación. Hay que estar particularmente atento al hecho de que los síntomas iniciales de deshidratación e hiperhidratación son similares (fatiga, mareo) y pueden ser confundidos, haciendo beber importantes cantidades de líquido a sujetos que se pensaba estaban deshidratados. Las mujeres parecen tener un mayor riesgo de desarrollar hiponatremia sintomática cuando compiten en carreras de maratón y ultramaratón, aunque las causas de esto no se conocen con certeza. Es posible que los aportes hídricos se hayan asimilado a los de los hombres, y en consecuencia, resulten excesivos tratándose de mujeres en las que el volumen de agua corporal total es también menor.

Bebidas rehidratantes

La bebida rehidratante por excelencia es el agua. El agua contiene también una pequeña cantidad de sales minerales y electrolitos, los cuales son fundamentales para que el agua resulte efectiva en calmar la sed. Este es el motivo por el cual el agua destilada es menos efectiva como bebida rehidratante que el agua de mesa. El contenido de sales minerales varía de unos tipos de aguas a otros pero en cualquier caso, la cantidad de sales presentes en el agua de consumo es pequeña. A lo largo de la historia de la humanidad han sido numerosas las bebidas que la mano del hombre ha producido y

todas ellas aportaban agua pero también otra serie de sustancias que tenían interés para el bienestar y la salud.

De hecho, la composición específica del líquido a beber puede ser interesante. Así, se han propuesto algunas directrices relativas a la composición de las bebidas a consumir cuando se realiza actividad física de larga duración y a elevada temperatura ambiental (Sawka *et al.*, 2007; Palacios *et al.*, 2008). Este tipo de bebidas debería contener una pequeña cantidad, en torno a 20 mEq/l de sodio (en forma de cloruro sódico), en torno a 4 mEq/l de potasio y un 5-10% de carbohidratos (Sawka *et al.*, 2007; Palacios *et al.*, 2008). La necesidad de estos componentes (carbohidratos y electrolitos) dependerá del tipo específico de ejercicio (intensidad y duración) y las condiciones ambientales. El sodio y el potasio sirven para ayudar a reponer las pérdidas determinadas por el sudor. En base a lo que se ha expuesto en los apartados anteriores, pensamos que esa cantidad de sodio puede resultar excesiva y la cantidad de potasio escasa. Así, una bebida con menos sodio y más potasio remedaría mejor las pérdidas por sudor y los cambios hidroelectrolíticos que se producen como resultado de la sudoración. En cualquier caso, el sodio también puede ser consumido, y de hecho lo es en exceso, a partir de alimentos.

El consumo de carbohidratos puede ser beneficioso para mantener la intensidad del ejercicio en actividades de alta intensidad de, en torno, a una hora de duración, así como en ejercicios de menos intensidad pero de mayor duración. También pueden ser interesantes para reponer las pérdidas de glucógeno que se consumen con el ejercicio. Si lo que se pretende es conseguir que con la misma bebida se produzca el suficiente aporte de carbohidratos, agua y electrolitos, el contenido en carbohidratos no debe exceder del 8% ya que si la concentración de los mismos es más elevada el vaciamiento gástrico disminuye.

Recientemente se han desarrollado industrialmente diversas bebidas cuya composición intenta facilitar la reposición de parte de las sustancias consumidas con el ejercicio. La composición de esas bebidas varía de unos tipos a otros. En la tabla 5 se presenta la composición de algunas de ellas. En esa tabla se presenta también la composición del agua y la cerveza.

Tabla 5. Contenido nutricional de bebidas rehidratantes.

	AGUA	CERVEZA	BEBIDA DEPORTIVA				Unidades
			Marca 1	Light	Genérica	Marca 2	
Calorias	0,0	43,0	32,0	11,0	27,0	26,0	Kcal
De carbohidratos	0,0	14,2	31,6	11,0	26,2	26,0	Kcal
De grasa	0,0	0,0	0,5	0,0	0,8	0,8	Kcal
De proteínas	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	Kcal
De alcohol	0,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Kcal
Carbohidratos	0,0	3,9	7,8	3,0	6,8	6,4	G
Glucosa y Sacarosa	0,0	0,0	6,1	0,0	5,5	5,2	G
Dextrinas y triosas	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	G
Fibra soluble	0,0	0,3*	0,0	0,0	0,0	0,0	G
Proteínas	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	G
Grasa	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	G
Vitamina C	0,0	0,0	0,4	6,3	0,4	0,4	mg
Vitamina K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	mcg
Niacina	0,0	0,5	1,5	0,0	0,6	0,2	mg
Vitamina B6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	mg
Folatos	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	mcg
Vitamina B12	0,0	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0	mcg
Acido Pantotenico	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	mg
Colina	0,0	10,1	0,0	0,0	0,3	0,3	mg
Calcio	10,0	4,0	2,0	0,0	1,0	1,0	mg
Hierro	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,1	mg
Magnesio	2,0	6,0 / 9,8*	5,0	1,0	2,0	2,0	mg
Fosforo	0,0	14 / 32*	2,0	9,0	7,0	10,0	mg
Potasio	0,0	27 / 52 *	13,0	10,0	14,0	15,0	mg
Sodio	2,0	4,0	22,0	35,0	30,0	39,0	mg
Zinc	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2	mg
Cobre	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,3	mg
Manganeso	~	0,0	0,1	~	0,1	0,1	mg
Selenio	0,0	0,6	0,0	0,1	0,3	0,3	mcg
Fluor	~	44,2	62,0	~	42,4	34,0	mcg
Alcohol	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	G
Agua	100,0	92,0	91,9	96,8	92,9	93,4	G

*Valores Obtenidos de Sendra y Carbonell, 1999. Obtenido de www.nutritiondata.com

¿Puede ser la cerveza efectiva como bebida rehidratante?

Como se ha referido previamente, una de las bebidas clásicamente utilizadas para calmar la sed, y que quizás ha estado entre las más consumidas a lo largo de la historia de la humanidad, es la cerveza. Elaborada a partir de agua, cebada, malteada y lúpulo, la cerveza es fundamentalmente agua pero también tiene un pequeño contenido calórico (45 kcal/100 ml) y posee diferentes nutrientes como vitaminas del grupo B (niacina, riboflavina, piridoxina, folatos y vit. B₁₂), fibra soluble, minerales (silicio, potasio, magnesio, fósforo, calcio y bajo contenido de sodio) (Romeo, 2006). Otro componente son las maltodextrinas, carbohidratos complejos cuya absorción lenta facilita una adecuada hidratación. Las características organolépticas de la cerveza y su composición justifican su preferencia de consumo y señalan que puede ser adecuada para reponer al menos en parte las pérdidas hidro-minerales que se producen con el sudor y con ello facilitar la recuperación tras el ejercicio físico, particularmente cuando se realiza en ambiente caluroso.

Desde que a principios del siglo pasado se alertara sobre los peligros que podía tener ingerir una bebida inadecuada durante el ejercicio de larga duración, han aparecido numerosos estudios dirigidos a comprobar cuál es la composición óptima de las bebidas más adecuadas para los distintos momentos de la práctica deportiva (Armstrong *et al.*, 2006); Below, Mora-Rodríguez, González-Alonso y Coyle, 1995; Bilzon, Murphy, Allsopp, Wootton y Williams, 2002; Burke y Read, 1993; Coombes y Hamilton, 2000; Coyle, 2004; Cuisinier *et al.*, 2002; Jeukendrup, 2004; Kavouras *et al.*, 2006; Khanna y Manna, 2005; Maughan, Merson, Broad y Shirreffs, 2004; Morris, Nevill, Thompson, Collie y Williams, 2003; Noakes, 2006; Seifert, Harmon y DeClercq, 2006; Williams, Raven, Fogt e Ivy, 2003). En el año 2000, de forma conjunta la American Dietetic Association, Dietitians of Canada, y el American College of Sports Medicine (2000) daban unas pautas sobre hidratación adaptadas al estado del conocimiento que recientemente el propio ACSM ha adaptado a los nuevos hallazgos (Sawka *et al.*, 2007). Apreciamos que existen importantes coincidencias bioquímicas entre la composición de la cerveza y la bebida ideal para la rehidratación tras la práctica del ejercicio. No obstante, la cerveza contiene una característica diferencial que la puede hacer desaconsejable, como es el hecho de que contiene alcohol.

Tradicionalmente, se han considerado las bebidas alcohólicas como inadecuadas y desaconsejables tras la práctica de ejercicio físico. La Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC) (2004), establece en la “Pirámide de la hidratación adecuada” la advertencia que su uso con fines de hidratación no es recomendado, aunque establece que un consumo moderado puede tener efectos positivos sobre la salud. Sin embargo, ningún estudio se ha dirigido a examinar de manera práctica el efecto específico de la cerveza. Esta bebida por su composición, características organolépticas y su bajo contenido alcohólico, puede ser “no” perjudicial, sino que incluso, en cantidades moderadas, puede ser beneficiosa como favorecedora de una rápida y efectiva rehidratación. Además, la cerveza es una bebida que se caracteriza por su marcado efecto refrescante y su poder mitigador de la sensación de sed (Sendra y Carbonel, 1988).

Conseguir una adecuada rehidratación que reponga las pérdidas hidro-electrolíticas y reinstaure rápida, y completamente, los depósitos energéticos deplecionados, puede mejorar el rendimiento físico-deportivo y optimizar la velocidad de recuperación post-esfuerzo (Brouns, 1991; Maughan y Shirreffs, 1997; Murray, 1998). Para conseguirlo lo ideal es administrar una bebida que se absorba adecuadamente y consiga reestablecer, en el menor tiempo posible el equilibrio homeostático.

Como se ha mencionado anteriormente, las características que debe tener esta bebida son un contenido en carbohidratos de 6-8% (Burke, 2001; González-Gross, Gutiérrez, Mesa, Ruiz-Ruiz y Castillo, 2001; ADA, DC y ACSM, 2000), un contenido moderado de sodio (Maughan, Shirreffs, Merson y Horswill, 2005; Shirreffs y Maughan, 2000), una cierta cantidad de potasio (Maughan y Shirreffs, 1997). El volumen y la frecuencia de la ingesta de la bebida está influenciada por la temperatura, sabor y aroma y apariencia (Burke, 2001; Maughan y Leiper, 1999; Wald y Leshem, 2003; Wilk y Bar-On, 1996; Wilk, Rivera-Brown y Bar-On, 2007; Wilmore, Morton, Gilbey y Wood, 1998), siendo las bebidas frías (7°-13° C) las preferidas (Gisolfi y Duchman, 1992; Shi, Bartoli, Horn y Murray, 2000). La carbonatación de la bebida también influye sobre la respuesta sensorial y la ingesta voluntaria de líquido. En un estudio realizado en adultos voluntarios la carbonatación al 1,1 Vol. CO₂ fue la que obtuvo mejores resultados (Passe, Horn y Murray, 1997). La ingesta de anhídrido carbónico, por otro lado, ayuda a

reponer el gasto de CO₂ que se produce con la hiperventilación y que tiene consecuencias negativas.

Además, la cerveza, también aporta sustratos metabólicos que reemplazan las pérdidas ocasionadas por el ejercicio como son aminoácidos, diversos minerales, vitaminas del grupo B y antioxidantes (Denke, 2000). Hay que destacar que la cerveza contiene 4 g de carbohidratos totales por 100 ml (que es prácticamente la cantidad recomendada para bebidas deportivas). De esta cantidad, la mayor parte son maltodextrinas de bajo peso molecular, lo que contribuye a atenuar el efecto osmótico que a nivel intestinal tiene la glucosa o la sacarosa. Por otra parte las maltodextrinas se metabolizan lentamente liberando unidades de glucosa que pasan progresivamente a sangre y dan lugar a un pico de glicemia menos elevado y más prolongado en el tiempo (Sendra y Carbonel, 1998). A ello habría que añadir la aceptación que tiene la cerveza como bebida de elección en un gran grupo de población para saciar la sed debido a su palatabilidad y la temperatura óptima para su consumo, que se encuentra entre 7° y 10 ° C.

El problema del alcohol

El contenido de alcohol que presenta la cerveza, y sus posibles efectos perjudiciales, no constituye un problema menor y sus efectos merecen ser evaluados y tomados en consideración. El contenido de alcohol de la cerveza está en torno a 4°, lo que corresponde a unos 4 gramos de alcohol por cada 100 ml de bebida. El alcohol posee unos efectos específicos, algunos de los cuales pueden resultar negativos pero hay otros que pueden ser positivos, como a continuación se discute.

El alcohol, como tal, no está presente en la naturaleza pero nuestro organismo dispone de maquinaria enzimática para metabolizarlo completamente y obtener energía. De hecho, el alcohol provee una importante cantidad de calorías. El conjunto de enzimas encargados de metabolizar la molécula de alcohol está compuesto de tres enzimas: alcohol deshidrogenasa 1, alcohol deshidrogenasa 2 y, en menor medida, una catalasa (Lieber, 2000). La alcohol deshidrogenasa 1 metaboliza el 90% del alcohol en el hígado con un índice de 100 mg/Kg/h (O'Brien y Lyons, 2000). La alcohol deshidrogenasa 1 (sita en el citosol del hepatocito) es la principal enzima reguladora en la metabolización del alcohol, convirtiendo la molécula de alcohol en NADH y un acetaldehído. En

condiciones de abuso o ingestas elevadas, el alcohol no se metaboliza y permanece por completo. Además, se genera un exceso de NADH, lo que inhibe la gluconeogénesis y la oxidación de ácidos grasos. Esto puede provocar una hipoglucemia acompañada de hiperlactacidemia como consecuencia de la inhibición de la gluconeogénesis, lo que reduce la capacidad aerobia (O'Brien y Lyons, 2000) pero esto sólo cuando se toma en gran cantidad. En esas condiciones, el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, y en consecuencia, la síntesis de guanosina trifosfato GTP están inhibidos por los niveles elevados de NADH (que se producen durante la oxidación del etanol) mermando la capacidad aerobia (O'Brien y Lyons, 2000).

El alcohol que afecta al sistema nervioso central, provocando las manifestaciones típicas de haberlo consumido en exceso, es el que no se metaboliza. Cada persona debe ser consciente de su nivel de tolerancia al alcohol y las circunstancias en que puede y no puede consumirlo. En cualquier caso, la moderación en su consumo es una condición sine qua non. La alcohol deshidrogenada 1 es un enzima constitutivo, es decir está siempre presente en todos los sujetos. La alcohol deshidrogenada 2 es un enzima inducible por la presencia de alcohol, es decir, el propio alcohol induce su síntesis. Esto explica por qué mientras a las personas abstemias el alcohol les produce más efecto, las que consumen alcohol habitualmente tienen mayor "tolerancia". Se sabe que entre distintos individuos y grupos sociales existen importantes diferencias en la tolerancia al alcohol. La distribución geográfica del nivel de tolerancia al alcohol sin duda corresponde a la mayor exposición que, a lo largo de la historia, han tenido unos pueblos respecto a otros. Otros productos de consumo corriente en la actualidad, como los lácteos, presentan una distribución de tolerancia similar y ponen de manifiesto la diferente exposición de los grupos étnicos a las actividades de ganadería y agricultura.

Alcohol y salud

Son numerosos los estudios que sustentan los efectos beneficiosos del alcohol ingerido en dosis moderadas, definiendo consumo moderado como una cerveza (10-12 g etanol/día) y dos cervezas (20-24 g etanol/día) al día para mujeres y hombres, respectivamente (Di Castelnuovo *et al.*, 2006; Diaz *et al.*, 2002; Gignoux *et al.*, 2006; O'Keefe, Bybee y Lavie, 2007; Romeo, González-Gross, Warnberg, Díaz y Marcos,

2007; Romeo, Warnberg, Díaz, González-Gross y Marcos, 2007; Romeo, Warnberg, Nova, Díaz, Gómez-Martínez *et al.*, 2007).

De hecho, numerosos estudios utilizan una curva en forma de “J” o de “U” para describir la relación entre consumo de alcohol y mortalidad total. Estos estudios muestran que una cierta reducción en el número de muertes por enfermedad cardiovascular y por infartos de miocardio, se asocia con un consumo ligero o moderado de alcohol. Sin embargo, cuando dicho consumo de alcohol es muy elevado y excesivo, éste se asocia con un incremento en la mortalidad, hipertensión, cardiomiopatía alcohólica, cáncer y accidentes cerebrovasculares. Se han propuesto muchos mecanismos para explicar el beneficio que el consumo ligero y moderado de alcohol tiene sobre el corazón, como pueden ser, una mejora de la sensibilidad a la insulina, un incremento en el colesterol-HDL, reducción de la viscosidad plasmática y de la concentración de fibrinógeno, incremento de la fibrinólisis, descenso de la agregación plaquetaria, mejora de la función endotelial, reducción de la inflamación y promoción de efectos antioxidantes (Di Castelnuovo *et al.*, 2006; Kloner y Rezkalla, 2007; O'Keefe, Bybee y Lavie, 2007).

Existe controversia respecto a si es el alcohol, *per se*, el que tiene estos efectos beneficiosos. Así, algunos autores sugieren que el vino posee ventajas sobre otro tipo de bebidas alcohólicas, mientras que hay estudios que sugieren que el tipo de bebida no es lo determinante (Kloner y Rezkalla, 2007; O'Keefe, Bybee y Lavie, 2007; Schroder *et al.*, 2007). Uno de los componentes del vino, en particular del vino tinto, que ha mostrado tener propiedades positivas para la salud, son los flavonoides, y en particular el resveratrol. La cerveza es otra bebida que también contiene este tipo de sustancias en cantidades significativas. Así, contiene diversos compuestos fenólicos en cantidad de 150 a 350 mg/l, destacando los antocianógenos (hasta 100 mg/l), flavonoides (catequinas, hasta 20 mg/l) y flavonoles (hasta 10 mg/l). Un compuesto específico de esta familia que está presente en la cerveza y está demostrando tener propiedades positivas para la salud, es el xanthohumol.

En cualquier caso, el alcohol *per se* consumido con moderación parece ejercer efectos positivos sobre la salud, disminuyendo por ejemplo el número de ataques al corazón (Gaziano *et al.*, 1999; Truelsen, Gronbaek, Schnohr y Boysen, 1998) incluso en

hombres con bajo riesgo (al controlar por IMC, tabaquismo, actividad física, y consumo moderado de alcohol) (Mukamal, Chiuve y Rimm, 2006). Concretamente, los bebedores de cerveza poseen hasta un 20% menos de probabilidad de sufrir eventos cardiovasculares mayores (Wannamethee y Shaper, 1999). En este sentido, un reciente estudio longitudinal concluye, tras evaluar a más de 20.000 personas durante 11 años, que las personas que no cumplen los requisitos de ser activo, no fumar, ingerir una cantidad moderada de alcohol (de 1 a 14 unidades por semana) y poseer niveles plasmáticos de vitamina C > 50mmol/l tienen una probabilidad cuatro veces mayor de muerte por enfermedad cardiovascular (Khaw *et al.*, 2008).

Del mismo modo, se asocia favorablemente a diferentes factores de riesgo cardiovascular: a) incrementa los niveles de colesterol HDL (Romeo, González-Gross, Warnberg, Díaz y Marcos, 2007; Ruidavets *et al.*, 2002; Sierksma, van der Gaag, van Tol, James y Hendriks, 2002; Wakabayashi, 2008; Yoon, Oh, Baik, Park y Kim, 2004); b) disminuye la concentración sanguínea de lipoproteínas de baja densidad, colesterol LDL (Chrysohoou *et al.*, 2003); c) reduce los niveles plasmáticos de triglicéridos (Baer *et al.*, 2002); d) se han observado cifras inferiores de fibrinógeno en sujetos con un consumo de alcohol, o de cerveza, moderado (Kloner y Rezkalla, 2007; Mennen, Balkau, Vol, Caces y Eschwege, 1999; Sierksma, van der Gaag, Kluft y Hendriks, 2002); e) los bebedores de cerveza (en cantidades moderadas) muestran menores concentraciones de homocisteína en plasma (De Bree, Verschuren, Blom y Kromhout, 2001; Pitsavos *et al.*, 2004; Ubbink, Fehily, Pickering, Elwood y Vermaak, 1998).

Estudios longitudinales han demostrado también que la mortalidad por infarto o patologías cardiovasculares se reduce considerablemente con ingestas bajas moderadas de alcohol (Khaw *et al.*, 2008; Marmot, Rose, Shipley y Thomas, 1981; Pedersen, Heitmann, Schnohr y Gronbaek, 2008; Schroder *et al.*, 2007; Yano, Rhoads y Kagan, 1977), concretamente y en el caso de los hombres, se produce una reducción de casi el 50% en la mortalidad con respecto a los abstemios (Hoffmeister, Schelp, Mensink, Dietz y Bohning, 1999). En el caso de las mujeres, un estudio analizó más de 7.000 mujeres sanas y concluyó, que el grupo de mujeres que mantenían un consumo de alcohol ligero-moderado frente a las no bebedoras, mostraban valores menores de colesterol total e índice aterogénico, y valores más elevados de colesterol HDL (Wakabayashi, 2008).

Analizando los hábitos de consumo de vino, cerveza y bebidas destiladas, algunos estudios concluyen que el consumo de 1 a 3 bebidas por semana se asocia con un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares (Mukamal *et al.*, 2008). Por otro lado, algunos autores afirman que las dietas más saludables que reducen la inflamación y el riesgo cardiovascular, son la Mediterránea y la de Okinawa, donde algunos de sus componentes esenciales unidos a la práctica de ejercicio y al consumo moderado de alcohol, poseen un efecto postprandial positivo (O'Keefe, Gheewala y O'Keefe, 2008).

Por último, destacar que, mientras una ingesta abusiva de alcohol produce una inmunodepresión a largo plazo, su ingesta en cantidades bajas o moderadas, puede mejorar la inmunocompetencia y la respuesta inmuno-humoral, según resultados de una revisión realizada por el grupo del CSIC de Madrid (Díaz *et al.*, 2002; Romeo, Warnberg, Díaz, González-Gross y Marcos, 2007).

Por ello, el efecto inmunomodulador derivado de un consumo moderado de cerveza, se podría traducir en una menor predisposición a contraer infecciones (Romeo, Warnberg, Nova, Díaz, Gómez-Martínez *et al.*, 2007; Romeo, Warnberg, Nova, Díaz, González-Gross *et al.*, 2007).

Alcohol y rendimiento físico

El American College of Sport Medicine, en un Position Stand clásico sobre alcohol y deporte (1982), afirma que la ingesta moderada de alcohol no va a influir de manera sustancial en el funcionamiento fisiológico o metabólico esencial para el rendimiento físico, por ejemplo, sobre el metabolismo energético, consumo máximo de oxígeno (VO₂ max), frecuencia cardiaca, volumen latido, gasto cardiaco, flujo sanguíneo muscular, diferencia arteriovenosa de oxígeno o las dinámicas respiratorias. Del mismo modo, diversos estudios (Blomqvist, Saltin y Mitchell, 1970; Bobo, 1972; Bond, Franks y Howley, 1984; Juhlin-Dannfelt, Jorfeldt, Hagenfeldt y Hulten, 1977; Shirreffs y Maughan, 2006; Williams, 1972) no han conseguido detectar ningún efecto adverso sobre la fuerza, potencia, resistencia muscular localizada, velocidad y rendimiento cardiovascular. Otros afirman que el nivel de deterioro del rendimiento dependerá de la dosis de alcohol, el hábito de consumirlo, la duración del ejercicio y las condiciones ambientales, entre otros factores (Shirreffs y Maughan, 2006). Sin embargo, ciertos

autores sí han informado acerca del efecto adverso del alcohol sobre estas cualidades físicas (Hebbelinck, 1959; Pihkanen, 1957). En cualquier caso, y tal como se señala en una reciente revisión (Suter y Schutz, 2008), si el alcohol afecta o no el rendimiento físico es algo que no está suficientemente aclarado. Una vez más, cada persona debe valorar cómo le afecta.

El bajo contenido alcohólico, junto a las maltodextrinas presentes la cerveza, ejercen un interesante efecto osmótico que facilita el vaciado gástrico (Coombes y Hamilton, 2000; Shirreffs y Maughan, 1997). Un vaciado gástrico ralentizado y, por tanto, una menor absorción intestinal, son condiciones asociadas comúnmente al ejercicio, y empeoran a medida que aumenta la intensidad del mismo (Leiper, Broad y Maughan, 2001). El alcohol, al ser metabolizado deja agua libre (el fenómeno es similar a lo que se produce cuando se rehidrata un paciente deshidratado con glucosa al 5% por vía intra-venosa; la glucosa se metaboliza y queda el agua que “vehiculizaba” la glucosa, éste agua no se hubiera podido administrar como tal por su hipo-osmolaridad).

Los efectos beneficiosos del consumo moderado de cerveza sobre la salud han sido constatados recientemente por diversos autores, tanto para la cerveza sin alcohol (Bassus *et al.*, 2004; Valls *et al.*, 2009), como con alcohol (Denke, 2000; Di Castelnuovo *et al.*, 2002; González-Gross *et al.*, 2008; Imhof *et al.*, 2008; Powell *et al.*, 2006; Marcos *et al.*, 2007). No obstante, son muy escasos los datos de la literatura referidos de manera específica a la cerveza en relación con la práctica de actividad física y el rendimiento. Estos estudios ponen de manifiesto que existe un consumo de cerveza, en especial entre los deportistas aficionados (Donato *et al.*, 1994; O'Brien y Lyons, 2000; Watten, 1995), pero en ningún caso se han dirigido a estudiar de manera específica el efecto de un consumo moderado de cerveza sobre el rendimiento y la recuperación post-esfuerzo. Por el contrario, sí ha sido objeto de atención el estudio de los hábitos nutricionales de los jóvenes españoles, en relación a la cerveza (Ortega *et al.*, 1997), concluyendo que aquellos jóvenes que consumen cerveza de manera habitual, muestran una ingesta de energía y nutrientes más próxima a la recomendada, tienen una incidencia de sobrepeso/obesidad menor a la de otros grupos, y sus parámetros sanguíneos resultan más favorables.

En cuanto al efecto negativo del alcohol sobre el metabolismo aerobio que antes mencionábamos, se puede inferir que la cerveza, al tener cantidades moderadas de alcohol, no llegaría a alterar el sistema metabólico particularmente después del ejercicio. De hecho, Shirreffs y Maughan (1997) y otros autores (Koziris Kraemer, Gordon, Incledon, y Knuttgen, 2000) han demostrado que el consumo moderado de bebidas alcohólicas post-esfuerzo, no pone en peligro los procesos de recuperación y encontraron unos niveles de hormona antidiurética, angiotensina II y electrolitos similares a los que se presentan cuando no se consume alcohol.

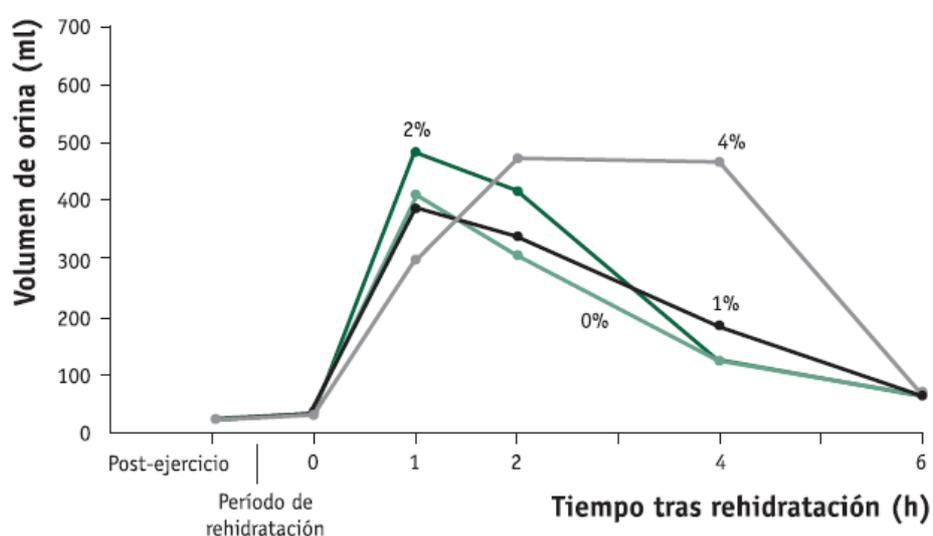


Figura 2. Evolución de la producción de orina tras inducir deshidratación (2% de pérdida de masa corporal) mediante ejercicio y, a continuación, rehidratar con cerveza que contenía la proporción de alcohol que se indica. La cantidad de cerveza administrada estaba en torno a 2,2 l (150% de la masa corporal perdida). Tomado de Shirreffs y Maughan, 1997

Es sabido que el alcohol inhibe la hormona antidiurética y, en consecuencia, aumenta la diuresis. Esto puede ser un problema que dificulte la recuperación del metabolismo hídrico. Sin embargo, se ha demostrado que la rehidratación con una cantidad importante de bebida (2,2 l) conteniendo distintas concentraciones de alcohol (0%, 1%, 2%, 4%) determinan una similar evolución de la producción de orina en las dos primeras horas del periodo de rehidratación (Shirreffs y Maughan, 1997). De hecho, con la bebida al 4%, la diuresis es algo inferior en la primera hora y similar en la segunda,

teniendo que esperar hasta 4 horas para observar una mayor diuresis que tampoco se mantiene más allá en el tiempo (figura 2). Esto se explica fácilmente bajo el punto de vista fisiológico por el estricto mantenimiento de la jerarquía de funciones por lo cual, ante una situación de deshidratación, prima el efecto de la reposición hídrica sobre otros efectos que pueda tener el alcohol sobre la diuresis, lo cual corrobora nuestra hipótesis, de que un consumo moderado/bajo de alcohol post-esfuerzo, en personas habituadas a su consumo no está reñido ni dificulta una adecuada rehidratación (Shirreffs y Maughan, 1997). Por otra parte, incluso en personas mayores, otros autores han encontrado que el consumo de cerveza o vino en cantidad ligera (1 a 7 consumiciones por semana) o moderada (7 a 14 consumiciones por semana) se asocia con un mejor rendimiento físico y menor probabilidad de padecer limitaciones funcionales (Cawthon *et al.*, 2007).

En cualquier caso la ingesta de bebidas que contengan alcohol, tras la práctica de ejercicio, es un problema controvertido y sus efectos merecen ser evaluados en profundidad, pero no evaluando la ingesta de alcohol como tal, sino evaluando la ingesta de la bebida que lo contienen, en este caso la cerveza. Bebida cuyo consumo, particularmente tras la práctica de ejercicio, constituye una realidad incontrovertible que no puede dejar de ser tomada en consideración. Es por todo ello que se ha planteado la presente Tesis Doctoral con la hipótesis y objetivos que se presentan a continuación.

OBJETIVOS

General:

El objetivo general de esta Tesis Doctoral ha sido conocer los efectos que sobre la fisiología del individuo, tiene la práctica muy extendida entre la población general, consistente en ingerir cerveza como parte de la rehidratación tras la práctica de ejercicio, evaluando particularmente si provoca efectos negativos sobre quién la consume y si supone algún tipo de desventaja fisiológica respecto a lo que sería una rehidratación exclusivamente a base de agua.

Específicos:

1. Evaluar en una muestra de sujetos jóvenes y sanos las consecuencias que, a nivel fisiológico, tiene la realización de un ejercicio extenuante en condiciones de elevada temperatura ambiental, realizado en laboratorio, y determinante de un importante grado de pérdidas hídricas por sudoración.
2. Conocer en qué medida los cambios fisiológicos que siguen a la realización de un esfuerzo físico extenuante, acompañado de importante sudoración, se revierten mediante una rehidratación *ad libitum* en base de agua.
3. Valorar en qué forma todo ello se ve influido por la ingesta de una cantidad moderada, pero significativa, de cerveza (660 ml).

Tanto en las consecuencias del ejercicio como en el efecto de uno u otro tipo de rehidratación se estudian los cambios en:

- a) Recuperación de las pérdidas hídricas.
- b) Cambios en la composición corporal.
- c) Balance hídrico y mineral.
- d) Alteraciones de parámetros hemo-metabólicos, daño muscular e inmunológicos.
- e) Rendimiento psico-cognitivo y psico-motor.

Hipótesis

La hipótesis nula a contrastar se plantea en los siguientes términos:

La ingesta de cerveza tras una práctica deportiva, que se acompaña de abundantes pérdidas hídricas, no tiene consecuencias negativas ni sus efectos difieren de los que tiene la ingesta de agua.

La hipótesis alternativa es doble:

a) La ingesta de cerveza tras el ejercicio físico tiene efectos negativos y resulta menos efectiva que la ingesta de agua.

b) La ingesta de cerveza tras el ejercicio físico presenta efectos positivos y ventajas sobre la ingesta de agua.

Premisas

Para aceptar o rechazar las citadas hipótesis había que diseñar un estudio de investigación, sencillo pero válido, que tenía una serie de premisas:

1. El estudio tenía que realizarse en humanos sanos, habituados al consumo moderado de cerveza y a la práctica deportiva de cierto nivel de intensidad.
2. Los sujetos tenían que someterse a una sesión de ejercicio en unas condiciones que provocara deshidratación, i.e. aeróbica, de larga duración y con elevada temperatura ambiental.
3. Tras el ejercicio, y consiguiente deshidratación, los sujetos tendrían que ingerir una cantidad significativa de cerveza y los resultados tenían que ser comparados con la rehidratación a base de agua.
4. La cantidad de cerveza no podía superar una ingesta moderada.

5. Para evitar la variabilidad individual cada sujeto debía ser su propio control, por lo cual debía someterse a dos sesiones, en una se rehidrataría con cerveza y en otra con agua.

6. Las dos pruebas debían hacerse en idénticas condiciones. En consecuencia, debían ser realizadas en condiciones de laboratorio.

7. Las sesiones de ejercicio, y las condiciones de realización, tenían que ser efectivas para objetivar lo que se buscaba pero simultáneamente debían remedar, en la mayor medida posible, unas condiciones reales, tanto medio-ambientales como de ejercicio.

8. Las cuestiones que había que responder incluían tanto los efectos de la ingesta de cerveza tras el esfuerzo (en términos absolutos y relativos con el agua), la eficacia de la cerveza en la rehidratación y el estudio de los posibles mecanismos que explicaran esos efectos.

9. Los resultados de la investigación, cualesquiera que fueran, debían ser publicados y dados a conocer a la comunidad científica y social.

Partiendo de esa hipótesis, y con esas premisas, se elaboró un proyecto de investigación en los términos convencionales de elaboración de proyectos para petición de financiación. Se solicitó financiación en convocatoria pública a las ayudas para proyectos investigación que anualmente convoca el Centro de Información Cerveza y Salud. Tras la correspondiente evaluación y selección, realizada por un comité científico de expertos, se obtuvo una financiación parcial del estudio.

La cumplimentación de estos objetivos y la contrastación de las hipótesis arriba indicadas contribuirían a establecer la utilidad, conveniencia y seguridad que tiene, entre deportistas amateur, e incluso entre deportistas profesionales, la práctica habitual de beber cerveza en cantidad moderada tras la realización de ejercicio. Y todo ello dentro de lo que es una pauta de alimentación de tipo mediterráneo.

MATERIAL Y METODOS

Sujetos

Se han estudiado 16 sujetos varones sanos, de edades comprendidas entre los 19 y 24 años, que realizaban habitualmente actividad física y se encontraban en un buen estado de forma física, entendiéndose por esto, que cumplieran como criterios de inclusión el poseer un consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) en torno a 50 ml/kg/min o superior y que alcanzaran una velocidad aeróbica máxima (VAM) de 14 Km/h, y ello como mínimo, en un test máximo de campo. Además, debían ser consumidores habituales y moderados de cerveza. Debían seguir una dieta mixta, no presentar hábitos tóxicos, ni tener antecedentes familiares de alcoholismo. Los criterios de inclusión citados anteriormente fueron comprobados en una prueba adicional y que precedió a la fase experimental del estudio. Dicha prueba consistió en el test de Léger-Bouchard o test de pista de la Universidad de Montreal, en el que se calculó el VO_{2max} y VAM) (Leger y Boucher, 1980).

En base a los resultados obtenidos, se realizó la preselección de sujetos experimentales. Además, en esta primera cita se proporcionaron también las instrucciones necesarias para las posteriores pruebas: abstención de esfuerzos extenuantes en las 48 horas precedentes a cada prueba del estudio a realizar, tipo de alimentación que debían seguir (dieta mixta mediterránea que en la práctica fue continuar con su alimentación habitual), abstención de tomar bebidas alcohólicas durante las 48h previas a las pruebas a realizar y periodo de ayuno previo a la prueba de 8 horas de duración.

Características de la Muestra

En las tablas 6a y 6b se presentan los datos descriptivos relativos a la composición corporal de los sujetos estudiados así como los parámetros de condición física evaluados en el test de inclusión.

Tabla 6a. Características de composición corporal de los sujetos estudiados (n= 16)

<i>Variables antropométricas</i>	Media ± DE	Mínimo	Máximo
Edad (años)	21,1 ± 1,4	19	24
Peso (Kg)	74,1 ± 6,5	60	85,2
Talla (m)	1,78 ± 0,04	1,70	1,86
Somatotipo Endomorfo	2,1 ± 0,6	0,8	3,2
Somatotipo Mesomorfo	5,5 ± 0,9	4	7,3
Somatotipo Ectomorfo	2,4 ± 0,8	1,1	3,6
Ratio Cintura / Cadera	0,80 ± 0,02	0,84	0,80
Índice Cintura / Altura	0,44 ± 0,02	0,47	0,44
Porcentaje Grasa (%) DEXA	14 ± 5	6	22
Porcentaje Masa Magra (%) DEXA	86 ± 5	78	94

DEXA, Escáner de absorciometría de rayos X de doble energía

Tabla 6b. Nivel de Condición Física (n= 16)

<i>Condición Física</i> ¹	Media ± DE	Mínimo	Máximo
VO ₂ max (ml/kg/min) ²	56 ± 4	49	63
Velocidad Aeróbica Máxima (Km/h)	16 ± 1	14	18
Palier Final	15 ± 1	13	17
Frecuencia Cardiaca Máxima Teórica (latidos/min)	199 ± 1	196	201
Frecuencia Cardiaca Final (latidos/min) ³	196 ± 7	183	216

VO₂max; Consumo Máximo de Oxígeno. ¹Parámetros obtenidos en el test de inclusión. ²Calculado según Leger-Boucher. ³ Frecuencia Cardiaca Final medida en el Test de Montreal

Como se aprecia, las características de la muestra de sujetos finalmente incluidos en el estudio corresponden a las establecidas como criterios de inclusión, tratándose de sujetos con una composición corporal propia de personas físicamente activas (tabla 6a) y un buen nivel de condición física (tabla 6b), propia de sujetos que realizan deporte de manera habitual aunque ninguno de ellos era deportista profesional.

Por otro lado, el perfil del somatotipo promedio de los participantes en el estudio fue predominantemente mesomórfico. De acuerdo a la interpretación de resultados del software utilizado para el análisis (Olds y Norton, 2000), su porcentaje de grasa corporal promedio es correspondiente a varones jóvenes físicamente activos.

Diseño Experimental

El estudio se sometió al comité de ética de la Universidad de Granada que dio su aprobación. Todos los participantes cumplimentaron el correspondiente consentimiento informado de manera previa al inicio del estudio.

Dado que el objeto de la investigación era estudiar el efecto de la cerveza como bebida rehidratante tras un ejercicio físico importante de características similares a lo que es habitual en la práctica deportiva, se diseñó un protocolo cruzado e intra-sujeto en el que cada sujeto era su propio control. Los participantes se sometieron a dos pruebas idénticas en orden aleatorio y separadas por tres semanas de intervalo. En dicho periodo, el sujeto mantuvo su actividad diaria y estilo de vida habitual. En una de las pruebas, tras el ejercicio, los sujetos iban a consumir sólo agua para su rehidratación, en la otra prueba iban a consumir inicialmente cerveza (660 ml) y después agua. Por lo demás, las dos pruebas eran idénticas tanto en cuanto a prueba de esfuerzo, condiciones ambientales y tipos de estudio que se realizaba.

La estructura general de la prueba (figura 3) consistía en una primera batería de test, una sesión de ejercicio con alto nivel de sobrecarga física, una segunda evaluación de la misma batería de test al finalizar el ejercicio, dos horas de reposo con rehidratación, durante las cuales los sujetos bebían agua o cerveza, y una tercera evaluación de dicha batería de test. Todo ello se realizaba en unas condiciones ambientales de $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ de temperatura y una humedad relativa del $60\pm 2\%$.

1ª Batería de Test	Ejercicio	2ª Batería de Test	Rehidratación	3ª Batería de Test
<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimentación de cuestionarios. • Composición corporal: DEXA. Bioimpedancia. Antropometría-ISAK. • Toma de muestras para estudio analítico: Sangre, Saliva, Orina. • Tests de habilidades psico-cinéticas por Vienna Test System. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 min Calentamiento 40% VAM • 60 min Carrera 60% VAM • 5 min Recuperación 30% VAM • (FC y RPE cada 10min) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimentación de cuestionarios. • Composición corporal: DEXA. Bioimpedancia. Antropometría-ISAK. • Toma de muestras para estudio analítico: Sangre, Saliva, Orina. • Tests de habilidades psico-cinéticas por Vienna Test System. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua "ad libitum" ó • Cerveza (660 ml) + agua "ad libitum" 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimentación de cuestionarios. • Composición corporal: DEXA. Bioimpedancia. Antropometría-ISAK. • Toma de muestras para estudio analítico: Sangre, Saliva, Orina. • Tests de habilidades psico-cinéticas por Vienna Test System.

Figura 3. Protocolo general del estudio

- **Batería de test:** Cada una de las tres medidas de la batería de test consistía en: a) anamnesis general y cumplimentación de cuestionarios; b) estudio de composición corporal por absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA), bioimpedancia eléctrica multifrecuencia y antropometría reglada; c) estudio analítico en sangre, orina y saliva; d) test de habilidades psicocinéticas y perceptivas evaluadas mediante el Vienna Test System. Más abajo se describen detalladamente estos test.
- **Sesión de ejercicio:** La prueba de esfuerzo consistía en un protocolo de carrera que comenzaba con 5 min de calentamiento al 40% de su VAM, seguidos de 60 min de carrera al 60% de su VAM y finalizando con una recuperación de 5 min al 30 % de su VAM. Durante la prueba y al finalizar la misma se registraron, cada 10 minutos, la frecuencia cardíaca (FC) y la escala de Percepción Subjetiva del Esfuerzo de Borg (RPE). Tras la sesión de ejercicio, los sujetos se duchaban rápidamente.
- **Rehidratación:** El protocolo de rehidratación tenía dos horas de duración y comenzaba inmediatamente después de la segunda batería de pruebas. El protocolo consistía en beber únicamente agua *ad libitum* en una ocasión y otra, en beber cerveza (660 ml) seguida de agua *ad libitum*. El volumen y tiempo de ingesta total fueron registrados. Se midió el volumen y composición de la orina durante la fase de rehidratación.
- **Pruebas:** En cada sujeto se aplicaba en seis ocasiones la batería de tests (tres en cada protocolo o evaluación completa en un día), obteniéndose las siguientes medidas: dos pre-ejercicio (mismas condiciones), dos post-ejercicio (*idem*) y dos

tras rehidratación, una correspondiente a la rehidratación sólo con agua y otra a la correspondiente a la rehidratación con cerveza más agua.

Descripción de la Batería de test

Análisis de la composición corporal:

El análisis de la composición corporal fue llevado a cabo a través de tres métodos diferentes:

Escáner de DEXA

Se utilizó un densitómetro DEXA de cuerpo entero (figura 4) marca Norland XR- 46 (Medical System, Inc. Fort Atkinson, WI, Estados Unidos). Esta tecnología permite obtener información precisa acerca del porcentaje de grasa (%), masa total de grasa (g), porcentaje de masa magra (%) y masa total de masa magra (g) así como, por supuesto, contenido mineral óseo y densidad mineral ósea, que es para lo cual se usa más comúnmente esta tecnología.



Figura 4. Estudio de la composición corporal mediante DEXA.

Bioimpedancia eléctrica multifrecuencia

Se empleó el sistema multifrecuencia Body Composition Analyzer Biodynamics 310 (Biodynamics Corporation, Seattle, WA, Estados Unidos). Mediante la bioimpedancia multifrecuencia (figura 5) se obtiene información sobre el porcentaje de masa grasa (%), masa magra (%), agua total (%) y agua extracelular (%). Esto se consigue estudiando las impedancias al paso de corrientes aplicadas a las frecuencias de 1 KHz, 10 KHz, 25 KHz, 50 KHz, 75 KHz, 100 KHz, 150 KHz.



Figura 5. Estudio de la composición corporal mediante impedanciometría.

Mediciones Antropométricas estandarizadas

Se llevaron a cabo siguiendo la técnica de la International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) (Marfell-Jones, Olds, Stewart y Carter, 2006). El estudio fue realizado siempre por el mismo antropometrista diplomado por la ISAK nivel 3 (figura 6). Se midió por duplicado el perfil restringido compuesto por: peso corporal (Kg) utilizando una báscula Seca (rango 0,05-130 kg, precisión 0,05 kg); talla (cm) utilizando un estadiómetro (rango 60-200 cm, precisión 1mm); circunferencias (cm) medidas en brazo relajado, brazo contraído, cintura mínima, cadera y pantorrilla,

utilizando la cinta Lufkin (precisión 0,1cm); diámetros (cm) a nivel humeral y femoral utilizando un calibrador Tommy 2 marca Rosscraft (precisión 0,1 cm); y pliegues cutáneos (mm) a nivel de puntos específicos en tríceps, bíceps, subescapular, cresta iliaca, supraespinal, abdominal, muslo frontal y pantorrilla medial, utilizando un plicómetro marca Slim guide (precisión de 0,5 mm). A partir de estas mediciones se utilizó el software Lifesize (Olds y Norton, 2000) el cual obtiene un valor promedio de varias ecuaciones de predicción, para estimar el porcentaje de grasa (%), masa total de grasa (kg), porcentaje de masa magra (%), masa magra total (kg), el índice de masa corporal (IMC), el somatotipo y el índice cintura-cadera.

El error técnico de medición (ETM) intraevaluador se calculó con la siguiente fórmula:

$$ETM = \sqrt{\sum d^2 / 2n} \text{ y } \%ETM = ETM/\text{media} * 100$$

Y fue $\geq 5\%$ para pliegues y $\geq 1.0\%$ para las otras variables.

Para la valoración de cambios reales entre las mediciones en los diferentes momentos del estudio, se usó un intervalo de confianza (IC) del 95% (2 desviación estándar; DE).



Figura 6. Estudio de la composición corporal mediante antropometría.

Estudio Analítico

Las muestras de orina se recogieron en probetas para ser medido el volumen y posteriormente almacenadas para su análisis. Se extrajo una muestra de sangre de la vena antecubital obtenida con mínimo éstasis (figura 7). Se obtuvieron sangre total, plasma y suero. Las muestras fueron inmediatamente alicuotadas y, cuando correspondía, se almacenaban en congelador a -80°C hasta el momento de la determinación.

Análisis de Orina

A. Volumen de Orina Excretado (ml)

Se les pidió a los sujetos que vaciaran su vejiga al finalizar su periodo de carrera y posteriormente que recogieran toda la orina producida durante el periodo de rehidratación, lo que en la práctica resultó como una única micción recogida al finalizar dicho periodo.

Las siguientes variables secundarias se calcularon a partir de las anteriores: Tasa de Excreción Urinaria (ml/min) y los valores absolutos excretados de todos los parámetros de composición urinaria.

B. Composición Urinaria:

Osmolaridad de la orina (mOsm/Kg), urea (mg/dl), creatinina (mg/dl), ácido úrico (mg/dl), potasio (mmEq/l), sodio (mmEq/l), calcio (mg/dl), fósforo (mg/dl), cloro (mmEq/dl) y magnesio (mg/dl). La osmolaridad se midió mediante osmometría en un osmómetro Fiske 210 (Fiske, Norwood, MA, Estados Unidos). Las concentraciones de urea, creatinina, ácido úrico, calcio, fósforo y magnesio se determinaron por colorimetría enzimática en un auto-analizador Olympus AU 2700, Las concentraciones de sodio, potasio y cloro se determinaron mediante la técnica de electrodo selectivo en un auto-analizador Olympus AU 2700 (Olympus, Center Valley, PA, Estados Unidos).



Figura 7. *Extracción de una muestra sanguínea.*

Hematología y Bioquímica Clínica Plasmática

A. Parámetros hematológicos de serie eritrocitaria

El recuento de hematíes ($\times 10^6$ cel/ml) y las determinaciones de hemoglobina (g/dl), hematocrito (%) e índices hemáticos: Volumen Corpuscular Medio (VCM), se realizaron en un contador hematológico automático Technicon-H1 (Technicon-Bayer, Milan, Italia). El Volumen Plasmático (ml/100 ml) se obtuvo a partir de la fórmula de cálculo del porcentaje de cambio plasmático (Dill y Costill, 1974).

B. Parámetros séricos

La determinación de hierro (μ /dl) se realizó por colorimetría enzimática, de acuerdo con el principio técnico de TPTZ (Tripiridil tiacina), mediante un auto-analizador Olympus AU 2700 (Olympus, Center Valley, PA, Estados Unidos). La determinación de bilirrubina (mg/ 100 ml) se realizó mediante autoanalizador RA-500 de Technicon (Technicon-Bayer, Milan, Italia), con el método de referencia de la Sociedad Española de Bioquímica clínica (SEQC), DCA (Dicloroanilina).

C. Parámetros sanguíneos indicativos de deshidratación

La determinación de sodio (mEq/l) y potasio (mEq/l) en suero, se realizó mediante la técnica de electrodos selectivos. La determinación sérica de urea (mg/dl), creatinina (mg/dl) y albúmina (g/dl) se realizó mediante colorimetría enzimática, de acuerdo con los principios técnicos: ureasa, ácido pícrico y verde de bromocresol, todo ello en un auto-analizador Olympus AU 2700.

D. Parámetros sanguíneos endocrino-metabólicos

La determinación de glucosa (mg/dl) se realizó mediante colorimetría enzimática (técnica glucosa hexoquinasa) en un auto-analizador Olympus AU 2700. La determinación de insulina (μ U/ml) y cortisol (μ /dl) se realizó por quimioluminiscencia (EIA) en un aparato Advia Centaur (Siemens, Deerfield, IL, Estados Unidos). A partir de los niveles séricos de glucosa e insulina se calculó la ratio Glucosa / Insulina. La determinación de la hormona de crecimiento (HGH) (ng/ml) se realizó mediante quimioluminiscencia (EIA), en un analizador Inmulite 2000 (Siemens, Deerfield, IL, Estados Unidos).

E. Parámetros séricos indicativos de daño muscular

La determinación de láctico deshidrogenasa (LDH) (U/l) y creatin-fosfokinasa (CPK) (U/l) se realizaron mediante auto-analizador Technicon RA-500 (Technicon-Bayer, Milan, Italia), con el método de referencia de la SEQC, para estos parámetros: oxidación de lactato piruvato para la LDH y mediante el método de la Federación Internacional de Química Clínica (IFCC) para CPK, todo ello a 37°C. La concentración de homocisteína se realizó mediante quimioluminiscencia en un analizador Inmulate 2000 (Siemens, Deerfield, IL, Estados Unidos).

F. Parámetros hematológicos de la serie leucocitaria

Recuento de leucocitos totales y su perfil mediante la determinación de la fórmula leucocitaria: leucocitos ($\times 10^9/l$), neutrófilos ($\times 10^9/l$), linfocitos ($\times 10^9/l$), monocitos ($\times 10^9/l$), eosinófilos ($\times 10^9/l$) y basófilos ($\times 10^9/l$), realizados simultáneamente con los parámetros de la serie roja, en un contador hematológico H1 (Technicon-Bayer, Milán, Italia).

Estudio inmunológico

A. Recuento y porcentaje de subpoblaciones linfocitarias

Las subpoblaciones linfocitarias [células T totales (CD2), células T maduras (CD3), células T helper o cooperadoras (CD4), células T citotóxicas o supresoras (CD8) y células B (CD19)], se determinaron mediante la incubación de sangre venosa, anticoagulada con EDTA-K3, con el anticuerpo monoclonal correspondiente a cada subpoblación, conjugado con un fluorocromo (isocianato de fluoresceína y ficoeritrina), todo ello realizado en un sistema Q-PREP EPICS (Coulter Diagnostics, Fullerton, CA, Estados Unidos). Este sistema consta de un reactivo lisante de eritrocitos (InmunoPrep A), un estabilizador de leucocitos (Inmunoprep B), y un fijador de membrana celular (Inmunoprep C).

Posteriormente, las muestras marcadas se analizaron por citometría de flujo, ya que éste es un método analítico que permite la medida de emisión de fluorescencia y dispersión de luz, producidas por la iluminación apropiada de las células o partículas

microscópicas de una en una y arrastradas por un flujo portador, a medida que desfilan frente a un sistema de detección.

Los citómetros de flujo utilizados fueron: Fascaan (Becton-Dickinson, Franklin Lakes, NJ, Estados Unidos) y Epics XL (Coulter, Fullerton, CA, Estados Unidos).

B. Ceruloplasmina, proteína C-reactiva y factores C3 y C4 del complemento:

Las concentraciones séricas de ceruloplasmina, proteína C-reactiva y los factores del complemento C3 y C4 se determinaron por nefelometría (Image, Beckman Coulter, Fullerton, CA, Estados Unidos).

C. Función inmune celular “in vitro”: secreción de citoquinas medidas por CBA (Cytometric Beas Array):

La secreción de citoquinas se determinó en sobrenadantes procedentes de cultivos celulares tras 48 horas de incubación con un mitógeno. Se parte de sangre heparinizada que se diluye con solución salina (1/1) y se procede a la separación de linfocitos en gradiente de densidad ($1,077 \pm 0,001 \text{g/ml}$) de Ficoll (Ficoll-Hypaque, Lymphoprep, Nyegaard, Oslo, Norway). El proceso de separación se basa en la diferencia de densidad que existe entre los distintos tipos celulares. Las células mononucleares y las plaquetas se depositan en la parte superior del gradiente, porque tienen menor densidad que éste. Los glóbulos rojos y los granulocitos tienen mayor densidad y se depositan en el fondo del tubo. Con una pipeta Pasteur se retira la banda de linfocitos. Se realizan dos lavados en medio RPMI-1640 (BioWhittaker, Verviers, Belgium) y se ajusta a una concentración de 10^6 células por cada 1ml de medio de cultivo. Dichas células se resuspenden en el medio RPMI-1640 suplementado con 10% de suero bovino (BioWhittaker) después de descomplementarlo y con una concentración al 1% de penicilina/estreptomicina (5000UI/ml : $5000 \mu\text{g/ml}$, BioWhittaker). Tras esto se procede a la estimulación con phytohemaglutinina (PHA; Gibco BRL, Paisley, UK), e incubación 37°C en una atmósfera humidificada al 5% de CO_2 durante 48 horas, período tras el cual se extraen los sobrenadantes y se almacenan a -20°C para su posterior procesamiento.

La determinación de IL-2, IFN- γ , IL-4, IL-10, TNF- α , IL-6 se llevó a cabo por duplicado por medio de la técnica de CBA, usando los kits de Pharmingen (Human Th1 y Th2 cytokine CBA).

La secreción de citoquinas medidas por citometría de flujo combina el fundamento de las técnicas de inmunoensayo con la citometría de flujo. Seis grupos de microesferas de poliestireno de igual tamaño (7,5 μm de diámetro) son teñidas con distintas intensidades de fluorescencia. Cada partícula ha sido unida mediante enlace covalente con un anticuerpo (Ac) (Pharmingen, San Diego, CA) frente a una de 6 citoquinas (IL-2, IFN- γ , IL-4, IL-10, TNF- α , IL-5), representando una población concreta con una intensidad FL-3 de fluorescencia determinada. Este complejo Ac-partícula es capaz de unirse a la citoquina correspondiente y ser detectada de forma simultánea en la mezcla. La citoquina presente en la muestra, que se une al complejo, puede ser detectada por inmunoensayo directo usando 6 anticuerpos diferentes unidos a ficoeritrina (detector), (FL2). Tanto los estándares con concentraciones de 0-5000 pg/ml como los reactivos (Ac-partícula, detector-PE) son mezclas de las 6 citoquinas.

La mezcla de 50 μl de Ac-microesfera, 50 μl de detector-PE, y 50 μl de muestra o de estándares, se incuba durante 4 horas a temperatura ambiente y en ausencia de luz. Después, se lava para eliminar el reactivo que no se ha unido y se procede a la lectura en el citómetro.

Análisis de Saliva

La determinación de la secreción salival de inmunoglobulina A (IgA) (mg/l), se realizó mediante nefelometría de la casa Dade-Bhering utilizando un antisuero ant-IgA humana de la misma casa comercial.

Función Psico-Cinética: Habilidades Perceptivo-Motrices

El estudio de la función psico-cognitiva se realizó mediante el Vienna Test System (Schuhfried GmbH, Mödling, Austria) que es una tecnología de alta precisión que permite realizar una enorme variedad de test encaminados a medir las distintas habilidades perceptivas, motrices, de coordinación, atención, precisión y percepción-reacción óculo-manual, óculo-pédica así como campo visual entre otras. Las principales variables derivadas de los test utilizados son: Tiempo de reacción visual simple (TRs) (ms), tiempo de reacción visual discriminativo (TRd) (ms), tiempo de reacción ante estímulos múltiples visuales y auditivos (TRm) (ms), campo visual periférico (grados), ángulos visuales izquierdo y derecho (grados), tiempo de reacción ante estímulos periféricos (ms). Así como otras muchas variables complementarias disponibles en estos test que hacen referencia a la duración del test, total de respuestas ante estímulos múltiples, respuestas correctas, respuestas dentro de tiempo, respuestas incorrectas, número de estímulos periféricos omitidos, etc. permitiendo ampliar la información obtenida. Para ello se configuró un grupo de cuatro test que en su conjunto medía las variables antes mencionadas. En la figura 8 se muestra el sistema, apreciándose las distintas fuentes de estímulos y los periféricos de respuestas.



Figura 8. *Sujeto realizando una prueba en el Vienna Test System.*

Descripción y del Protocolo Experimental

Cada día se analizaron dos sujetos. Todo el desarrollo del protocolo tuvo unas condiciones ambientales constantes, temperatura $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del $60\pm 2\%$. Estas condiciones ambientales fueron mantenidas con la utilización de sistemas de calefacción, controladas a través de una estación meteorológica y comprobadas con el analizador de gases Oxicom –Pro Jaeger.



Figura 9. *Sujeto realizando la prueba de esfuerzo en tapiz.*

- **Primer punto de medición:** El primer sujeto llegaba al laboratorio a las 7:30h (y una hora más tarde el segundo que seguía una evaluación paralela, decalada una hora). Durante la primera hora se procedía a realizar las siguientes acciones: fase de aclimatación, explicación general del protocolo, desayuno estándar, entrevista de confirmación sobre el cumplimiento de los requisitos previos a la prueba.

Durante la siguiente hora y media, el sujeto realizaba todas las pruebas que conforman la batería de test anteriormente descrita.

- **Protocolo de carrera:** A las 10:00h (11:00 h para el otro sujeto), y previa calibración del equipo se iniciaba el protocolo de carrera en tapiz rodante (Jaeger; h-p-cosmos, Nussdorf-Traunstein, Germany) consistente en 5 minutos de calentamiento al 40% de su VAM seguidos de 60 minutos de carrera continua al 60% de la VAM y finalmente 5 minutos de recuperación al 30% de la VAM (VAM calculada previamente en el test de inclusión). A lo largo de la prueba se registraron (cada 10 minutos, así como a los 5 minutos de finalizar la prueba) tanto la FC como la RPE de acuerdo a la escala de Borg (figura 10a) Durante toda la prueba de carrera se utilizó un sistema de ventilación para recrear unas condiciones ambientales más reales y facilitar la evaporación del sudor. Al inicio, e inmediatamente al terminar el periodo de carrera de 60 minutos, se pasó una escala de sed (de 0 a 10) creada para tales efectos (figura 10b). La prueba de esfuerzo y las condiciones en que se realizaba estaba diseñada para provocar una profusa sudoración y una importante sobrecarga física (figura 9).
- **Segundo punto de medición:** Desde las 11:00h hasta las 12:30h se volvía a repetir la batería completa de pruebas ya descrita (una hora más tarde para el otro sujeto).
- **Protocolo de rehidratación:** A las 12:30h (ó 13:30h) el sujeto entraba en un periodo de rehidratación de dos horas en una sala contigua con idénticas condiciones ambientales que la anterior. A lo largo de estas dos horas el sujeto tendría que hidratarse en base al protocolo de rehidratación que le correspondiese cada día:

Percepción subjetiva del esfuerzo Escala de Borg		Percepción subjetiva de la sensación de sed	
Valor	Denominación	Valor	Denominación
20	Esfuerzo máximo, muy, muy duro	10	Tengo muchísima sed
19		9	
18		8	
17	Muy duro	7	Tengo mucha sed
16	Duro	6	Tengo sed
15		5	
14		4	
13	Moderado	3	Tengo algo de sed
12	Ligero	2	No tengo sed
11		1	
10			
9	Muy ligero		
8	Muy, muy ligero		
7			
6			
5	Absolutamente nada de esfuerzo		
4			
3			
2			
1			

Figura 10. Escalas subjetivas utilizadas. **10a (izquierda);** Escala de Percepción Subjetiva del Esfuerzo o Escala de Borg. **10b (derecha);** Escala subjetiva de percepción de sed.

- Un día, el periodo de rehidratación consistiría en ingerir hasta 660 ml de cerveza (con alcohol 4,5°) a una temperatura ideal de ingesta (en torno a 6°C). La bebida se consumía en una probeta de vidrio para contabilizar el volumen de ingesta (figura 11). Además, si el sujeto lo requería podía consumir agua *ad libitum*, cuyo volumen ingerido era igualmente contabilizado.



Figura 11. *Hidratación con cerveza utilizando una probeta para efectuar la medición.*

- Otro día, el periodo de rehidratación consistiría en ingerir tan sólo agua *ad libitum* registrando igualmente el total de ingesta realizado.

Durante ambos periodos de rehidratación se registró tanto el volumen de líquido ingerido como el volumen de orina excretado.

- **Tercer punto de medición:** Finalmente, a las 14:30h y 16:00h para un sujeto (entre 15:30 y 17:00 para otro) se volvía a realizar toda la batería de pruebas, dando por finalizado el protocolo.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los datos se efectuó con el programa SPSS (Statistical Package for the Social Science) v.15. Se utilizó el análisis de estadísticos descriptivos para representar la muestra. La diferencia entre los tres puntos de medición, de todas las variables, se calculó empleando el Modelo Lineal General de Medidas Repetidas ajustando por tratamiento, grupo y orden y se realizaron las comparaciones por pares según Bonferroni. Se calcularon los incrementos relativos entre los dos últimos puntos de medición mediante la siguiente fórmula: $(C-B/B)$. La diferencia de dichos incrementos en función del tratamiento se calculó empleando el Modelo Lineal General Univariante controlando por tratamiento. Para todos los análisis estadísticos el nivel de significación se fijó al $p < 0,05$. Todos los datos se expresan como media y desviación típica o estándar (DE).

RESULTADOS

Efectos del ejercicio en ambiente caluroso

Efectos del protocolo de carrera y recuperación

Efectos sobre Frecuencia Cardiaca y Percepción Subjetiva del Esfuerzo

La prueba de ejercicio r fue adecuadamente realizada por todos los sujetos y en todos los casos supuso una sobrecarga importante, tal y como podía apreciarse externamente en base a la percepción de la intensidad del esfuerzo que realizaban y al nivel de agotamiento con el que finalizaban. Dada la concurrencia de la elevada temperatura ambiental y el importante esfuerzo realizado, todos los sujetos desarrollaron una profusa sudoración que empapaba todo su cuerpo. Para facilitar la evaporación del sudor, y así acrecentar la pérdida hídrica, se pidió a los sujetos que, si lo deseaban, corrieran con el torso desnudo. Simultáneamente, un ventilador les proporcionaba aire de manera directa, lo que aliviaba la sensación de calor y facilitaba la evaporación. Esto era importante para que los sujetos toleraran la prueba y la completaran en su totalidad. En todos los casos, los sujetos relataron que la prueba era extenuante.

En la figura 12 se muestra tanto la evolución seguida por la FC como la RPE, ambos medidos cada 10 minutos, a lo largo de la prueba de carrera sobre tapiz y, al finalizar la misma, tras 5 minutos de recuperación. La intensidad del protocolo de trabajo fue constante y ambas variables sufrieron un incremento progresivo y significativo ($p < 0,001$) a lo largo de la prueba, alcanzando valores correspondientes a un esfuerzo de alta intensidad (FC final= 185 latidos /min; RPE final=18).

Al finalizar la carrera, y tras 5 minutos de reposo, los valores de FC y RPE sufrieron una caída acusada (FC 5' reposo= 144 latidos/min; RPE final=10) y también altamente significativa ($p < 0,001$) para ambas variables. Paralelamente, la puntuación de la escala de sed evaluada al inicio y final de la carrera se incrementó significativamente ($p < 0,001$) pasando de una puntuación inicial de 2 a un promedio 9 (sobre 10) al final de la prueba. Como cabía esperar, no se apreciaron diferencias significativas en la evolución de estas variables entre cada uno de los dos días evaluados.

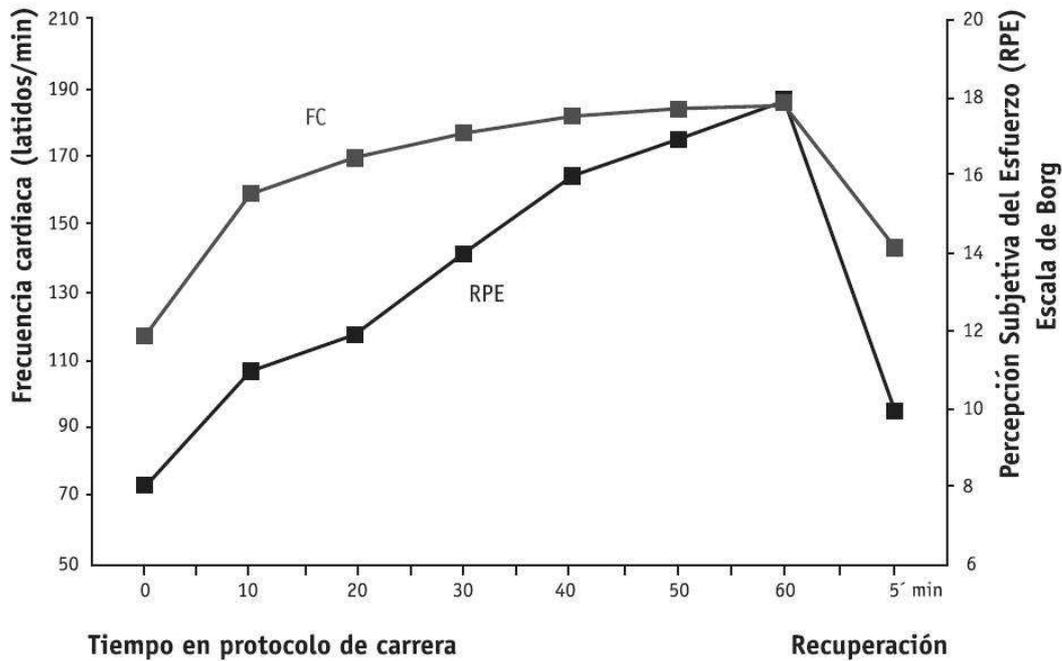


Figura 12. Evolución de la FC y la RPE medida cada 10 minutos durante toda la prueba de carrera y tras 5 minutos de recuperación. Los datos que se presentan son la media de las dos pruebas de ejercicio realizadas (antes de rehidratación)

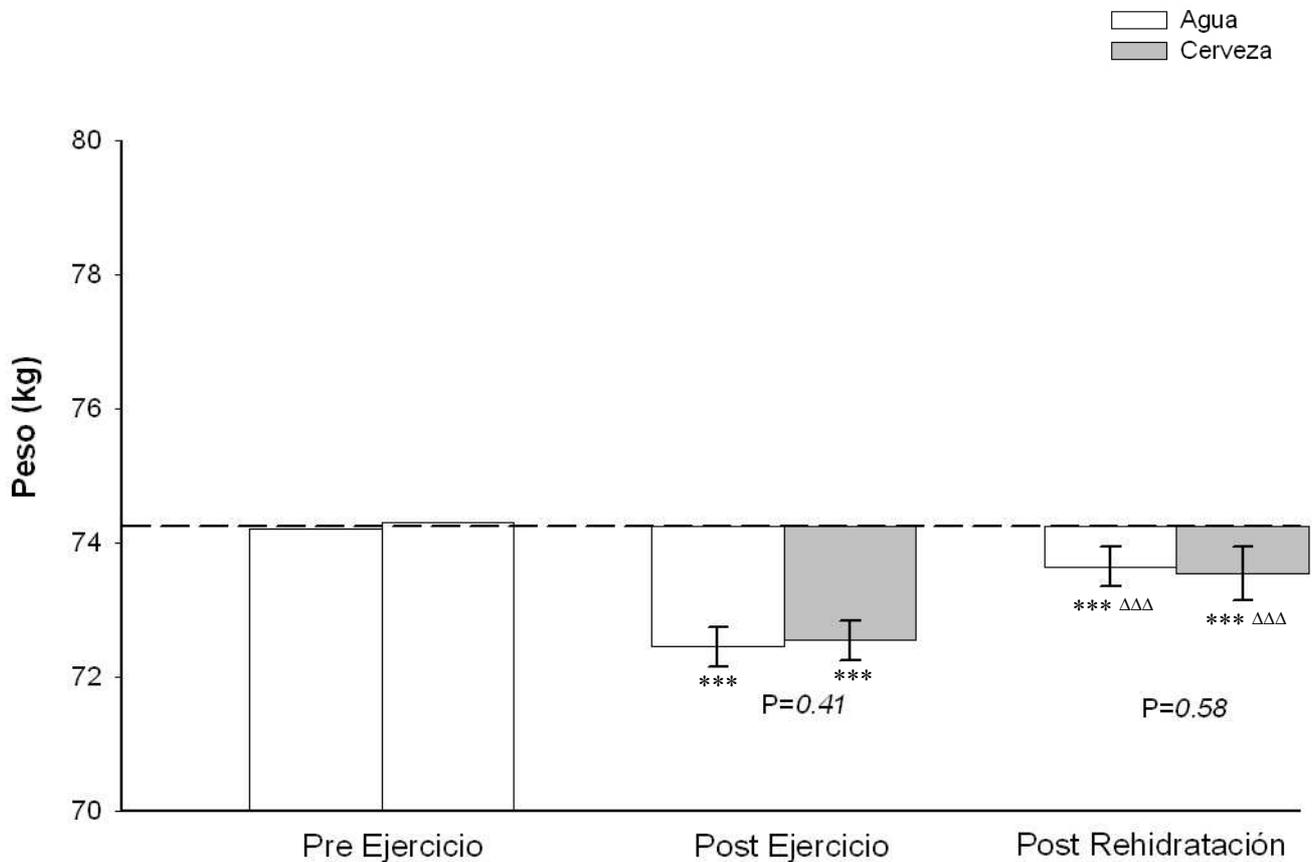
Efectos sobre la Sensación de sed

Tras finalizar el ejercicio y realizar las distintas pruebas de evaluación se ofreció a los sujetos beber un día cerveza y otro agua (aleatoriamente cualquiera primero). En ambos casos, la temperatura de la bebida era idéntica (6 grados centígrados) y la bebieron con la misma velocidad. Cuando bebían cerveza tenían la posibilidad de beber hasta 660 ml y, a partir de ahí, podían beber agua en la cantidad que quisieran hasta calmar su sed. Cuando bebían agua podían también beber la cantidad que deseaban. Todos los sujetos excepto uno, declararon preferir la cerveza al agua. Todos los sujetos declararon que tanto la cerveza como el agua les calmaban la sed. Dado que la ingesta de bebida era *ad libitum* no se apreciaron diferencias significativas en la sensación de sed en uno y otro caso. La recuperación tras el esfuerzo fue similar en ambos casos y bastante rápida aunque declaraban encontrarse afectados por el esfuerzo.

Efectos sobre el peso y composición corporal

Pérdida y recuperación del peso corporal

En la figura 13 se presenta la evolución del peso a lo largo del estudio y en la tabla 7 se presentan los datos relativos a la composición corporal. El peso corporal de los sujetos disminuye tras el protocolo de carrera un 2,4% de media ($p < 0,001$) (tabla 7; figura 13). La recuperación tras la rehidratación, tanto con cerveza como con agua, es del 1,6% del peso medio corporal ($p < 0,001$) y quedando una diferencia sin recuperar en torno a un 1% ($p < 0,001$).



*** $p \leq 0,001$ versus pre-ejercicio.

ΔΔΔ $p \leq 0,001$ versus post-ejercicio.

Figura 13. *Peso corporal antes del ejercicio, cambios de peso después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación sólo con agua o con cerveza más agua.*

Tabla 7. Parámetros de composición corporal (media±DE) en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza y agua ad libitum (Cerveza).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Peso (Kg)	Agua	74,2 ± 6,5	72,4 ± 6,3 ***	73,5 ± 6,5 *** ^{ΔΔΔ}	} p = 0,23
	Cerveza	74,3 ± 6,8	72,6 ± 6,7 ***	73,6 ± 6,9 *** ^{ΔΔΔ}	
% Masa Magra DEXA	Agua	85,5 ± 4,6	85,9 ± 4,5	85,6 ± 4,3	} p = 0,60
	Cerveza	85,7 ± 4,5	85,9 ± 3,9	85,9 ± 4,3	
% Masa Magra Antropometría¹	Agua	84,3 ± 4,8	84,7 ± 4,8 *	84,5 ± 4,8	} p = 0,79
	Cerveza	83,9 ± 4,9	84,6 ± 5,1 **	84,3 ± 5,1	
% Masa Magra Bioimpedancia	Agua	85,4 ± 3,6	87,9 ± 3,4 *	86,8 ± 3,6	} p = 0,28
	Cerveza	85,7 ± 2,8	87,8 ± 3,1 *	85,7 ± 3,6	
Masa Magra DEXA (Kg)	Agua	57,9 ± 4,5	56,6 ± 4,5 ***	57,4 ± 4,6 ***	} p = 0,40
	Cerveza	58,1 ± 4,9	56,9 ± 4,7 ***	57,5 ± 4,5 ***	
Masa Magra Antropometría (Kg)²	Agua	62,1 ± 4,6	60,9 ± 4,5 ***	61,4 ± 4,6 ***	} p = 0,45
	Cerveza	62,2 ± 4,7	61,2 ± 4,7 ***	61,9 ± 4,7***	
Masa Magra Bioimpedancia (Kg)²	Agua	63,2 ± 4,9	63,5 ± 4,7	63,7 ± 4,7	} p = 0,18
	Cerveza	63,6 ± 5,4	63,6 ± 5,1	62,9 ± 4,8	
% Agua Total Corporal	Agua	62,8 ± 2,7	64,5 ± 2,5 *	63,8 ± 2,6	} p = 0,37
	Cerveza	62,8 ± 2,0	64,5 ± 3,0 *	63,1 ± 2,6	
% Agua Extracelular Corporal	Agua	37,8 ± 0,9	37,9 ± 1,2	37,7 ± 0,9	} p = 0,20
	Cerveza	38,6 ± 1,3	38,3 ± 1,2	38,6 ± 1,3	
Agua Total Corporal (litros)²	Agua	46,5 ± 3,7	46,6 ± 3,4	46,8 ± 3,4	} p = 0,24
	Cerveza	46,6 ± 3,9	46,7 ± 3,7	46,4 ± 3,6	
Agua Extracelular Corporal (litros)²	Agua	28,0 ± 2,4	27,4 ± 2,2 *	27,7 ± 2,4	} p = 0,35
	Cerveza	28,7 ± 2,8	27,8 ± 2,3 **	28,4 ± 2,9 *	

Post- vs Pre-Ejercicio * p≤ 0,05. ** p≤ 0,01. *** p≤ 0,001.

Rehidratación vs Post-Ejercicio ♦ p≤ 0,05. ♦♦ p≤ 0,01. ♦♦♦ p≤ 0,001.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ p≤ 0,05. ΔΔ p≤ 0,01. ΔΔΔ p≤ 0,001.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación.

¹Calculada según Durnin & Womersley. ² calculada para el peso del momento.

Evolución de la composición corporal

Masa magra y agua corporal

Dentro de la composición corporal podemos distinguir dos componentes fundamentales como son la masa grasa y la masa magra que engloba tanto la masa muscular como el resto de componentes del organismo. Es la masa muscular la más susceptible de verse afectada por los cambios hídricos (ganancias o pérdidas) debido a su considerable contenido de agua y, por tanto, la componente mayoritaria de la masa magra. La composición corporal y, dentro de ella, el componente de masa magra ha sido analizada por tres métodos diferentes: DEXA, Antropometría y Bioimpedancia multifrecuencia, siendo el primero de ellos el que constituye un sistema de referencia a nivel científico por su alta precisión.

La masa magra expresada en porcentaje no cambia significativamente a lo largo del estudio al medirla mediante DEXA (tabla 7). Por el contrario sí sufre un ligero incremento ($p < 0,05$) al medirla por antropometría y bioimpedancia multifrecuencia (tabla 7). Dados los cambios (disminución) de peso que se producen, es necesario estudiar dichas variables de composición corporal de forma absoluta. Cuando los valores de masa magra fueron analizados de forma absoluta (tabla 7), tanto con el método de referencia (DEXA) como mediante antropometría, se observaron disminuciones altamente significativas tras el periodo de carrera ($p < 0,001$). La masa magra absoluta, medida por bioimpedancia y estando ajustada por el peso, no muestra cambios significativos tras dicho periodo.

Los porcentajes de masa magra medidos por los tres métodos (DEXA, antropometría y bioimpedancia multifrecuencia) no muestran cambios significativos tras el periodo de rehidratación. Sin embargo, cuando la masa magra se analiza en valor absoluto, se aprecia un incremento altamente significativo en las mediciones realizadas con DEXA y antropometría (ambos $p < 0,001$) siendo ésta similar para ambos tipos de bebidas ingeridas (tabla 7; figura 14). Estos cambios, tras la rehidratación no se apreciaron con la bioimpedancia.

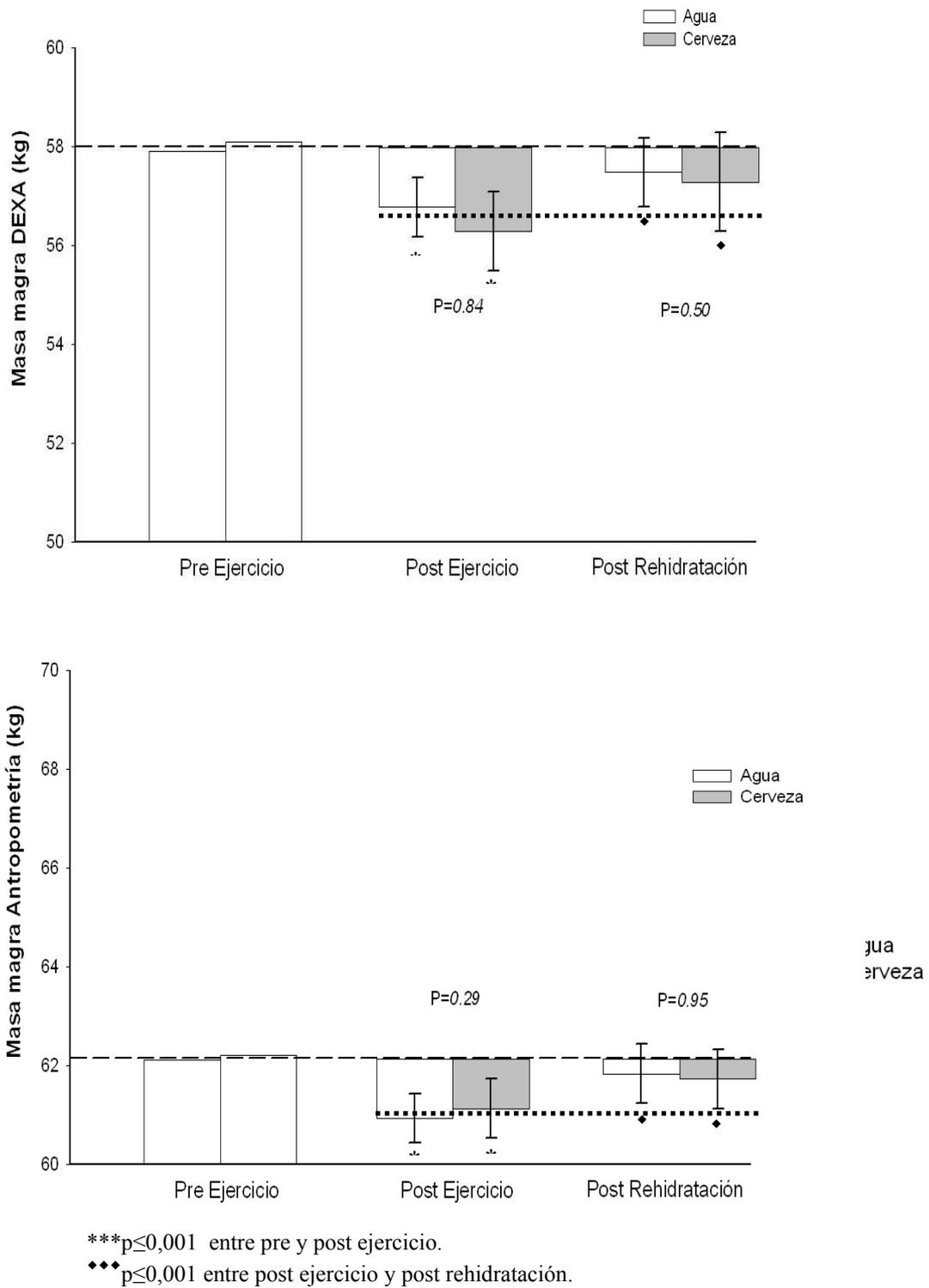
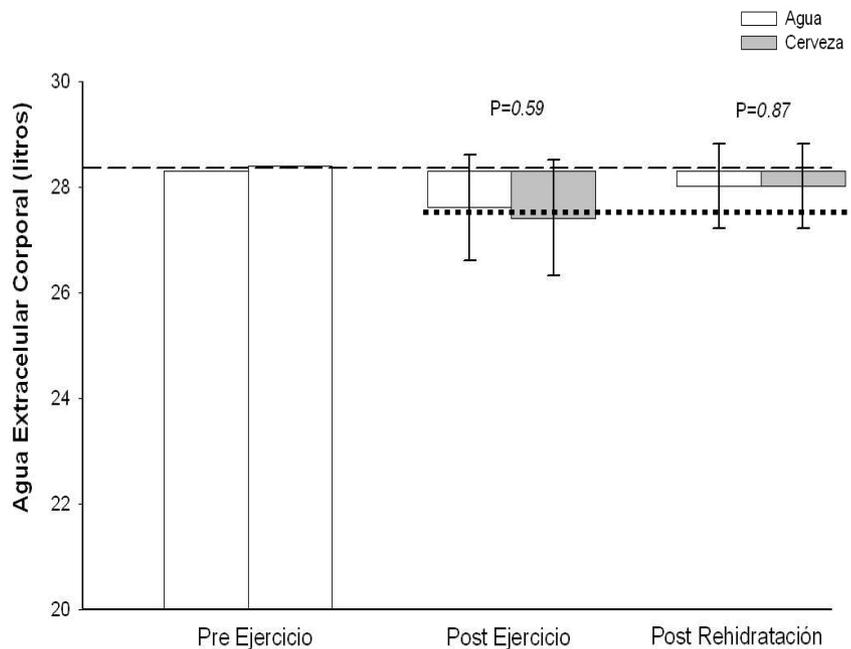


Figura 14. Masa magra antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación sólo con agua o con cerveza más agua, medida por los métodos DEXA y antropometría.

La estimación del porcentaje de agua corporal total, medida por bioimpedancia, parece aumentar tras el periodo de carrera ($p < 0,05$) mientras que el porcentaje de agua extracelular permanece estable tras dicho periodo (tabla 7). Tras ajustar dichos porcentajes en función del peso, y obtener valores absolutos expresados en litros totales, ambas tendencias cambian (tabla 7). En el caso del agua corporal total (litros), no aparecen cambios significativos mientras que el agua extracelular total (litros) muestra un descenso significativo tras el ejercicio ($p < 0,05$) (figura 15).

Tras la rehidratación, la estimación de los porcentajes de agua corporal total y el de agua extracelular total no muestran cambios significativos. Cuando se expresan como cantidades absolutas (litros), el agua corporal total sigue sin mostrar cambios significativos mientras que el agua extracelular muestra un incremento significativo ($p < 0,05$) (figura 15) en el caso de la rehidratación con cerveza, no ocurriendo lo mismo en la rehidratación con agua sola, si bien no se muestran diferencias significativas entre los dos tipos de rehidratación (tabla 7).



* $p < 0,05$ entre post ejercicio y post rehidratación

Figura 15. Valores absolutos del agua extracelular corporal antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación sólo con agua o con cerveza más agua.

Masa grasa

En la tabla 8 se presentan los datos relativos a masa grasa medida por los tres métodos. La masa grasa, medida por DEXA, no varía tras la carrera ni expresada en porcentaje ni en valores absolutos. La cantidad de masa grasa medida por antropometría y por bioimpedancia desciende significativamente tanto en términos relativos como en términos absolutos tras el periodo de ejercicio (todas $p < 0,05$).

Pliegues cutáneos y circunferencias corporales

En las tablas 9 y 10 se presentan los datos relativos a los pliegues cutáneos y circunferencias corporales medidos por antropometría. La circunferencia de cintura mínima disminuyó significativamente tras el periodo de carrera ($p < 0,001$) e incrementó tras la rehidratación con ambos tipos de bebidas aunque solo significativamente con agua ($p < 0,05$). No obstante, los incrementos relativos producidos en ambas bebidas fueron iguales sin diferencias significativas entre ambos.

Tabla 8. Medidas de masa grasa (media \pm DE) obtenidas en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
% Masa Grasa DEXA	Agua	14,4 \pm 4,6	14,1 \pm 4,5	14,4 \pm 4,3	} $p = 0,32$
	Cerveza	14,3 \pm 4,5	14,1 \pm 3,9	14,1 \pm 4,3	
% Masa Grasa Antropometría ¹	Agua	15,7 \pm 4,8	15,3 \pm 4,8 *	15,5 \pm 4,8	} $p = 0,92$
	Cerveza	16,1 \pm 4,9	15,4 \pm 5,1 **	15,7 \pm 5,1	
% Masa Grasa Bioimpedancia	Agua	14,5 \pm 3,8	12,1 \pm 3,5 *	13,2 \pm 3,7	} $p = 0,58$
	Cerveza	14,5 \pm 2,9	12,0 \pm 4,3 *	13,7 \pm 3,6	
Masa Grasa DEXA (Kg)	Agua	10,5 \pm 3,8	10,0 \pm 3,6	10,3 \pm 3,6	} $p = 0,32$
	Cerveza	10,5 \pm 3,7	10,0 \pm 3,3	10,1 \pm 3,7	
Masa Grasa Antropometría (Kg) ²	Agua	11,7 \pm 4,1	11,1 \pm 4,0 ***	11,4 \pm 4,0	} $p = 0,85$
	Cerveza	12,1 \pm 4,3	11,4 \pm 4,2 ***	11,8 \pm 4,4	
Masa Grasa Bioimpedancia (Kg) ²	Agua	10,9 \pm 3,3	9,0 \pm 3,0 *	9,9 \pm 3,2	} $p = 0,48$
	Cerveza	10,8 \pm 2,7	8,7 \pm 3,6 *	10,2 \pm 3,4	

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio \blacklozenge $p \leq 0,05$. $\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,01$. $\blacklozenge\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ $p \leq 0,05$. $\Delta\Delta$ $p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

¹Calculada según Durnin & Womersley.

Tabla 9. Parámetros de pliegues cutáneos (media±DE) en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza y agua ad libitum (Cerveza).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Tríceps (mm)	Agua	8,1 ± 2,9	7,9 ± 2,7	8,0 ± 2,8	} <i>p</i> = 0,61
	Cerveza	8,4 ± 2,7	8,3 ± 2,8	8,3 ± 2,8	
Subescapular (mm)	Agua	8,3 ± 1,8	8,4 ± 1,9	8,2 ± 1,9	} <i>p</i> = 0,23
	Cerveza	8,3 ± 1,8	8,3 ± 1,8	8,2 ± 1,9	
Bíceps (mm)	Agua	3,5 ± 1,6	3,2 ± 1,5**	3,4 ± 1,5	} <i>p</i> = 0,23
	Cerveza	3,6 ± 1,2	3,3 ± 1,3	3,3 ± 1,4	
Cresta ilíaca (mm)	Agua	15,5 ± 6,0	15,1 ± 5,9	15,3 ± 6,0	} <i>p</i> = 0,37
	Cerveza	15,7 ± 6,2	15,1 ± 6,1	15,6 ± 6,2	
Supraespinal (mm)	Agua	6,2 ± 1,7	6,1 ± 1,8	6,1 ± 1,8	} <i>p</i> = 0,41
	Cerveza	6,1 ± 1,7	5,8 ± 1,6	6,0 ± 1,7	
Abdominal (mm)	Agua	11,6 ± 4,7	11,2 ± 4,5	11,3 ± 4,5	} <i>p</i> = 0,68
	Cerveza	11,9 ± 4,2	11,7 ± 4,0	11,9 ± 4,5	
Muslo frontal (mm)	Agua	14,3 ± 5,5	13,9 ± 4,9	14,1 ± 5,4	} <i>p</i> = 0,91
	Cerveza	14,0 ± 5,4	14,1 ± 5,5	14,3 ± 5,6	
Pantorrilla (mm)	Agua	7,9 ± 3,4	7,9 ± 3,8	8,1 ± 3,8	} <i>p</i> = 0,49
	Cerveza	7,9 ± 3,6	7,8 ± 3,4	8,2 ± 3,5	
Sumatorio de 6 pliegues (mm)¹	Agua	56,3 ± 17,5	55,4 ± 17,1	55,7 ± 17,6	} <i>p</i> = 0,46
	Cerveza	56,6 ± 17,3	56,0 ± 17,3	56,8 ± 18,1	

Post- vs Pre-Ejercicio ** $p \leq 0,01$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

¹ Suma de tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo frontal y pantorrilla.

Tabla 10. Parámetros de circunferencias corporales (media±DE) en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza y agua ad libitum (Cerveza).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Brazo relajado (cm)	Agua	30,9 ± 3,1	30,6 ± 2,8*	30,9 ± 2,9**	} p = 0,16
	Cerveza	30,8 ± 3,1	30,7 ± 3,2	30,9 ± 3,2	
Brazo contraído (cm)	Agua	33,8 ± 3,1	33,6 ± 3,0	33,7 ± 3,0	} p = 0,40
	Cerveza	33,6 ± 3,2	33,5 ± 3,2	33,5 ± 3,2	
Cintura mínima (cm)	Agua	77,5 ± 3,2	76,3 ± 3,3***	76,9 ± 3,3** $\Delta\Delta\Delta$	} p = 0,42
	Cerveza	77,6 ± 3,7	76,6 ± 3,9***	77,0 ± 3,7 $\Delta\Delta\Delta$	
Cadera (cm)	Agua	96,9 ± 3,5	96,5 ± 3,1	96,5 ± 3,2	} p = 0,18
	Cerveza	97,6 ± 4,1	96,8 ± 4,0	97,2 ± 4,0	
Pantorrilla (cm)	Agua	37,7 ± 1,7	37,3 ± 1,7	37,6 ± 1,7	} p = 0,86
	Cerveza	38,0 ± 1,9	37,6 ± 1,8	37,9 ± 1,9	

Post- vs Pre-Ejercicio * p ≤ 0,05. ** p ≤ 0,01. *** p ≤ 0,001.

Rehidratación vs Post-Ejercicio ♦ p ≤ 0,05. ♦♦ p ≤ 0,01. ♦♦♦ p ≤ 0,001.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ p ≤ 0,05. $\Delta\Delta$ p ≤ 0,01. $\Delta\Delta\Delta$ p ≤ 0,001.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Efectos sobre el balance hídrico y mineral

Balance Hídrico

La figura 16 muestra el volumen total de líquidos ingeridos y orina excretada durante el período de rehidratación. Se observa una ingesta media de 1,6 L con ambos tipos de bebidas con una importante desviación típica ($\pm 0,6$ L) que indica una alta variabilidad inter-sujetos (tabla 10). La figura 16 también nos muestra el balance hídrico final tras el periodo de rehidratación. No se encontraron diferencias significativas entre la rehidratación con ambos tipos de bebidas para ninguna de las variables indicada en relación al balance hídrico (tabla 11).

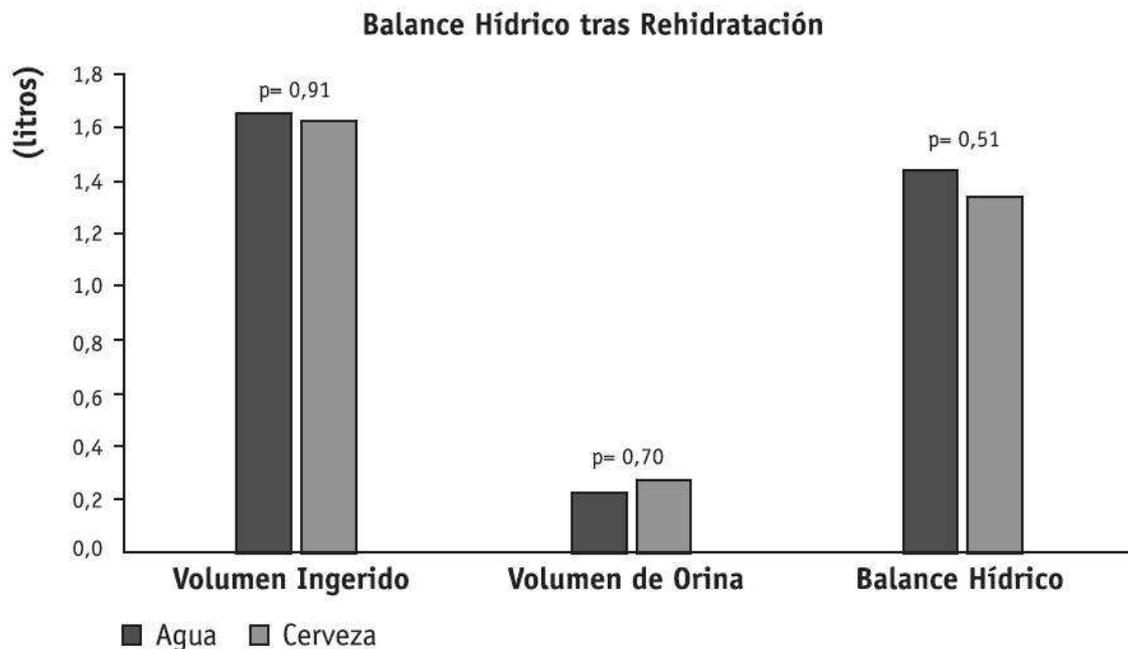


Figura 16. *Volumen total de líquido ingerido y volumen de orina producida durante el periodo de rehidratación con ambos tipos de protocolos (Agua, solo agua; Cerveza, 660 ml de cerveza más agua ad limitum).*

La tabla 11 muestra las variables de balance hídrico y excreción urinaria durante el periodo de rehidratación con ambos tipos de bebidas. Los resultados muestran que la ingesta total de forma voluntaria con ambos tipos de bebidas alcanza valores que suponen el 91% del peso perdido en el caso de la ingesta de agua y del 95% en el caso de la ingesta de cerveza y agua. El rango de tiempo empleado por los sujetos para ingerir de forma voluntaria los distintos tipos de bebidas osciló entre los 20 y 45 minutos iniciales del periodo de 2 horas facilitado.

El balance hídrico (tabla 11), es decir la diferencia entre lo ingerido y eliminado, fue calculado restando a la ingesta de líquidos final los volúmenes de orina excretadas durante el periodo de rehidratación. El resultado muestra que el balance hídrico es positivo y en torno al 80% (79% en caso de la ingesta de agua y 78% con la ingesta de cerveza más agua). La osmolaridad de la orina (tanto en concentración como en términos de cantidad de osmoles excretados) se mantuvo por debajo de los valores establecidos en la literatura (< 700 mOsmol) (Sawka, et al., 2007) como punto de corte de deshidratación tras el periodo de rehidratación, y ello con ambos tipos de bebidas.

Tabla 11. Variables balance hídrico y excreción urinaria (media \pm DE) medidas en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron durante y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

	Volumen Ingerido (ml)	Volumen Total de Orina (ml)	Balance Hídrico (ml)	Peso Ganado (kg)	Tasa de Excreción (ml/min)	Osmolaridad Urinaria (mOsm/Kg)	Miliosmoles Totales Excretados
Agua	1644 \pm 620	223 \pm 245	1429 \pm 490	1,2 \pm 0,43	1,86 \pm 2,04	681,50 \pm 181,04	127,79 \pm 78,98
Cerveza + agua	1620 \pm 587	281 \pm 374	1329 \pm 350	1,0 \pm 0,42	2,34 \pm 3,12	587,17 \pm 252,23	95,69 \pm 52,06
Agua vs Cerveza + agua	} $p = 0,91$	} $p = 0,70$	} $p = 0,51$	} $p = 0,29$	} $p = 0,66$	} $p = 0,28$	} $p = 0,17$

Rehidratación con Agua vs Cerveza + Agua } Significación

Excreción Urinaria de Solutos

Las tablas 12 y 13 recogen los resultados de excreción urinaria de solutos tanto en concentraciones como en valores absolutos. Todos los parámetros registrados, tanto en concentraciones como en valores de excreción absolutos, se encuentran dentro de los rangos de normalidad sin apreciarse diferencias significativas entre ambas bebidas.

En la figura 17 se muestra la excreción urinaria total de potasio y sodio tras la rehidratación. No se encontraron diferencias significativas para ambos solutos en función del tipo de bebida empleado en la rehidratación.

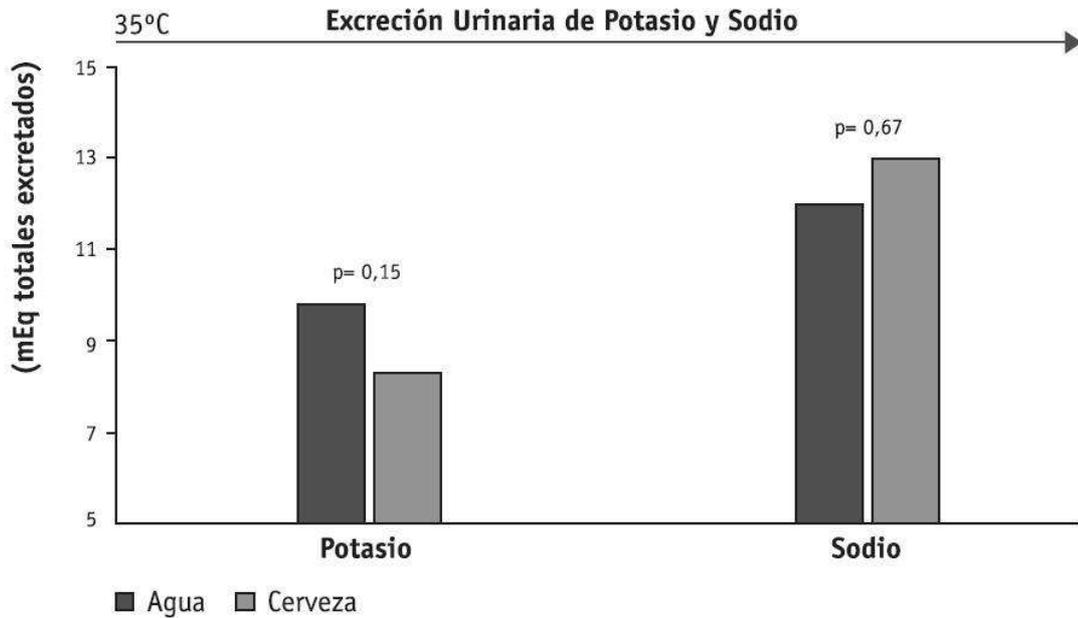


Tabla 12. *Parámetros urinarios (media ± DE) medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).*

	Urea (g/dl)	Creatinina (mg/dl)	Ac. Úrico (mg/dl)	Potasio (mEq/l)	Sodio (mEq/l)	Calcio (mg/dl)	Fósforo (mg/dl)	Cloro (mEq/dl)	Magnesio (mg/dl)
Agua	1,8 ± 8,6	178 ± 61	19 ± 10	61 ± 26	73 ± 38	10 ± 5	30 ± 20	87 ± 46	5 ± 3
Cerveza	1,5 ± 6,0	157 ± 71	15 ± 8	50 ± 27	74 ± 35	12 ± 7	28 ± 16	88 ± 41	6 ± 3
Agua vs Cerveza	} p = 0,23	} p = 0,36	} p = 0,37	} p = 0,16	} p = 0,56	} p = 0,45	} p = 0,74	} p = 0,42	} p = 0,51

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Tabla 13. *Excreción urinaria absoluta de los parámetros que se indican (media ± DE) medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).*

	Urea (g)	Creatinina (g)	Ac. Úrico (mg)	Potasio (mEq)	Sodio (mEq)	Calcio (mg)	Fósforo (mg)	Cloro (mEq)	Magnesio (mg)
Agua	3,4 ± 2,7	0,30 ± 0,16	40 ± 42	9,80 ± 3,70	12 ± 8	20 ± 16	69 ± 82	153 ± 98	8 ± 4
Cerveza	2,5 ± 1,1	0,25 ± 0,15	39 ± 43	8,33 ± 3,45	13 ± 7	20 ± 10	45 ± 26	154 ± 78	10 ± 5
Agua vs Cerveza	} p = 0,17	} p = 0,14	} p = 0,88	} p = 0,15	} p = 0,67	} p = 0,63	} p = 0,27	} p = 0,84	} p = 0,50

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Efectos sobre la recuperacion hemo-metabolica

Para poder entender con mayor precisión los cambios producidos en los sujetos tras la carrera y sobre todo el efecto de la ingesta de cerveza, se analizaron diversos parámetros hematológicos, séricos, hormonales, de daño muscular e inflamación e inmunológicos que resultan de interés para conocer el efecto de la ingesta de cerveza tras la realización de un esfuerzo físico importante y poder realizar una correcta interpretación de los resultados.

Parámetros Hematológicos

En la tabla 14 se presentan los datos analíticos correspondientes a parámetros hematológicos de los sujetos del estudio. Observamos que la carrera ha provocado un ligero efecto, aunque no significativo estadísticamente, sobre los hematíes, la hemoglobina y el hematocrito incrementando sus valores. Los cambios en volumen plasmático (figura 18), calculados según la fórmula de Dill y Costill (Dill y Costill, 1974), mostraron un descenso respecto al nivel pre-ejercicio en torno al 5% (5 ml/dl), y un incremento tras la rehidratación en torno a un 3% (3 ml/dl), ambos cambios no fueron estadísticamente significativos. El incremento del volumen plasmático tras la fase de rehidratación no mostró diferencias significativas entre los dos tipos de bebidas empleadas para ello (tabla 14).

El volumen corpuscular medio, indicador del nivel de hidratación de los hematíes, disminuye significativamente ($p < 0,05$ y $p < 0,01$) tras la realización de ejercicio físico (tabla 14). En sentido opuesto varían las cantidades de hierro y bilirrubina en sangre que se incrementan significativamente ($p < 0,001$ y $p < 0,05$; $p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente) (tabla 14).

Una vez que finaliza la rehidratación con los distintos tipos de bebidas se produce un descenso en los valores de hematíes, hemoglobina y hematocrito (tabla 14) aunque solo mostrando significación estadística la hemoglobina ($p < 0,05$). El volumen corpuscular medio no sufre cambios significativos tras la rehidratación (tabla 14), mientras que el hierro muestra un ligero descenso de sus valores pero sin alcanzar significación

estadística. Por otro lado, la bilirrubina tras la rehidratación permanece aumentada significativamente ($p < 0,001$) con respecto al punto inicial en el caso de la ingesta de agua sola no siendo así en el caso de la ingesta de cerveza (tabla 14) donde tiende a normalizarse de manera más efectiva, apareciendo incluso diferencias significativas entre la rehidratación con ambas bebidas ($p < 0,05$).

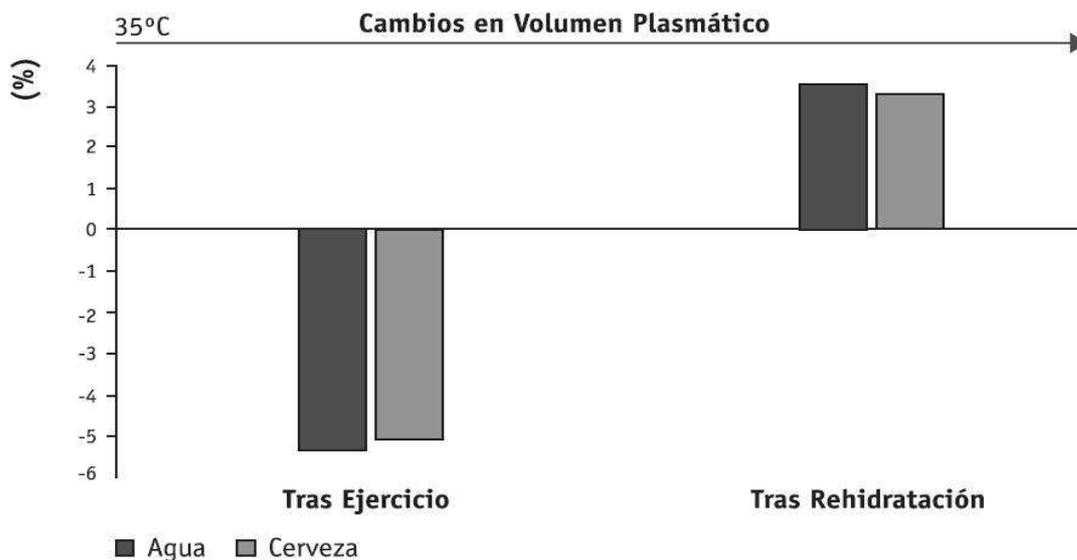


Figura 18. Porcentaje de cambio producido en el volumen plasmático tras el periodo de ejercicio y tras los periodos de rehidratación solo con agua o con cerveza más agua.

Tabla 14. Parámetros hematológicos (media ± DE) medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Hematíes (1x10⁶ cel/ml)	Agua	5,21 ± 0,38	5,34 ± 0,36	5,21 ± 0,30	} p = 0,35
	Cerveza	5,13 ± 0,40	5,21 ± 0,32	5,13 ± 0,31	
Hemoglobina (g/dl)	Agua	15,5 ± 0,9	15,9 ± 0,7	15,5 ± 0,6 ♦	} p = 0,49
	Cerveza	15,3 ± 0,9	15,6 ± 0,8	15,3 ± 0,7 ♦	
Hematocrito (%)	Agua	45,7 ± 3,0	46,6 ± 2,5	45,5 ± 2,3	} p = 0,45
	Cerveza	45,1 ± 2,9	45,6 ± 2,2	45,0 ± 2,1	
Cambios en Volumen Plasmático (ml/100 ml)	Agua	- 5,3 ± 6,5		+ 3,5 ± 4,8	} p = 0,44
	Cerveza	- 5,1 ± 6,9		+ 3,3 ± 5,2	
Volumen Corpuscular Medio (fl)	Agua	87,7 ± 3,0	87,4 ± 2,8*	87,5 ± 3,0	} p = 0,40
	Cerveza	88,1 ± 3,4	87,8 ± 3,4**	87,7 ± 3,5	
Hierro (g/dl)	Agua	95,7 ± 27,3	125,0 ± 31,6 ****	122,9 ± 29,9	} p = 0,43
	Cerveza	92,6 ± 32,0	114,6 ± 32,5*	108,0 ± 30,5	
Bilirrubina (mg/ dl)	Agua	1,1 ± 0,8	1,4 ± 1,0 **	1,6 ± 1,2 ΔΔΔ	} p < 0,05
	Cerveza	1,1 ± 1,5	1,4 ± 1,3 *	1,3 ± 1,2	

Post- vs Pre-Ejercicio * p ≤ 0,05. ** p ≤ 0,01. *** p ≤ 0,001.

Rehidratación vs Post-Ejercicio ♦ p ≤ 0,05. ♦♦ p ≤ 0,01. ♦♦♦ p ≤ 0,001.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ p ≤ 0,05. ΔΔ p ≤ 0,01. ΔΔΔ p ≤ 0,001.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Parámetros Séricos

Continuando con los parámetros séricos indicativos de deshidratación, en la tabla 15 se presentan ciertas variables con un especial carácter indicativo sobre el nivel de deshidratación. Los niveles plasmáticos de sodio y potasio no aumentan tras el ejercicio. Sin embargo tras el periodo de rehidratación, se aprecia un significativo descenso con ambas bebidas (ambas $p < 0,001$) en los niveles de potasio, no siendo así en el caso del sodio (tabla 15). No existieron diferencias significativas en la evolución de estos parámetros en función del tipo de bebida ingerida.

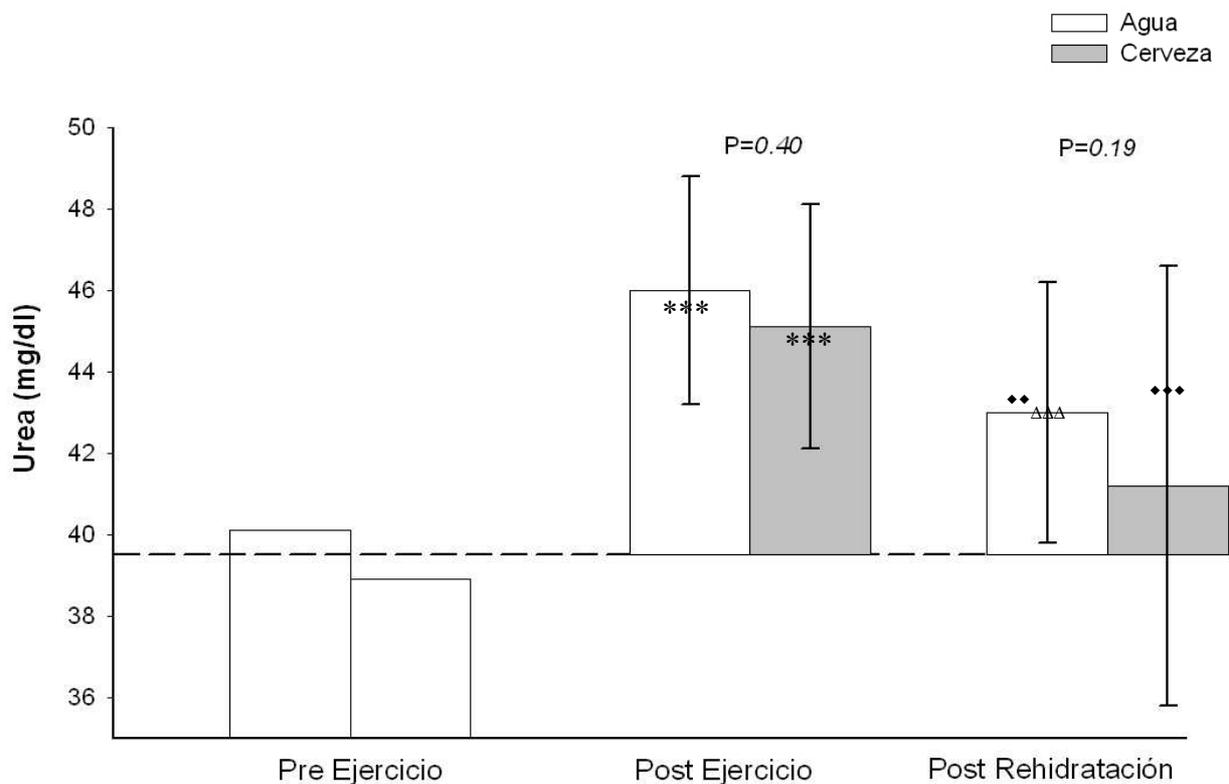


Figura 19. Concentración de urea antes del ejercicio, después del ejercicio y tras los periodos de rehidratación con agua y con cerveza más agua.

Los niveles plasmáticos de urea (figura 19), creatinina y albúmina (tabla 15) incrementaron significativamente tras el ejercicio (todos $p < 0,001$), produciéndose una significativa disminución tras la rehidratación en las concentraciones de urea (figura 20)

y creatinina (todos $p < 0,05$). Existe una cierta tendencia a la significación entre los descensos producidos en la urea en función de la bebida ingerida ($p < 0,09$), permaneciendo significativamente elevada con respecto al nivel basal en el caso de la rehidratación con solo agua ($p < 0,001$) (tabla 15). La concentración de albúmina, pese a una disminución no significativa tras la rehidratación, sigue permaneciendo elevada con respecto a los valores pre-ejercicio y ello de manera similar tanto en la rehidratación con agua y rehidratación con cerveza (tabla 15).

Tabla 15. Datos analíticos plasmáticos (media \pm DE) medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Sodio (mEq/l)	Agua	138 \pm 2	138 \pm 2	137 \pm 3	} $p = 0,95$
	Cerveza	138 \pm 2	139 \pm 3	137 \pm 2	
Potasio (mEq/l)	Agua	4,6 \pm 0,4	4,7 \pm 0,4	4,2 \pm 0,4 ^{◆◆◆$\Delta\Delta\Delta$}	} $p = 0,28$
	Cerveza	4,7 \pm 0,4	4,7 \pm 0,3	4,3 \pm 0,3 ^{◆◆◆Δ}	
Urea (mg/dl)	Agua	40 \pm 6	47 \pm 6 ^{***}	44 \pm 4 ^{◆◆$\Delta\Delta\Delta$}	} $p = 0,09$
	Cerveza	39 \pm 8	45 \pm 7 ^{***}	40 \pm 8 ^{◆◆◆}	
Creatinina (mg/dl)	Agua	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1 ^{***}	1,2 \pm 0,1 ^{◆◆◆$\Delta\Delta$}	} $p = 0,25$
	Cerveza	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1 ^{***}	1,2 \pm 0,1 [◆]	
Albúmina (g/dl)	Agua	4,7 \pm 0,3	5,0 \pm 0,2 ^{***}	4,9 \pm 0,2 ^{Δ}	} $p = 0,19$
	Cerveza	4,6 \pm 0,3	4,9 \pm 0,3 ^{***}	4,9 \pm 0,2 ^{Δ}	

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio ◆ $p \leq 0,05$. ◆◆ $p \leq 0,01$. ◆◆◆ $p \leq 0,001$.

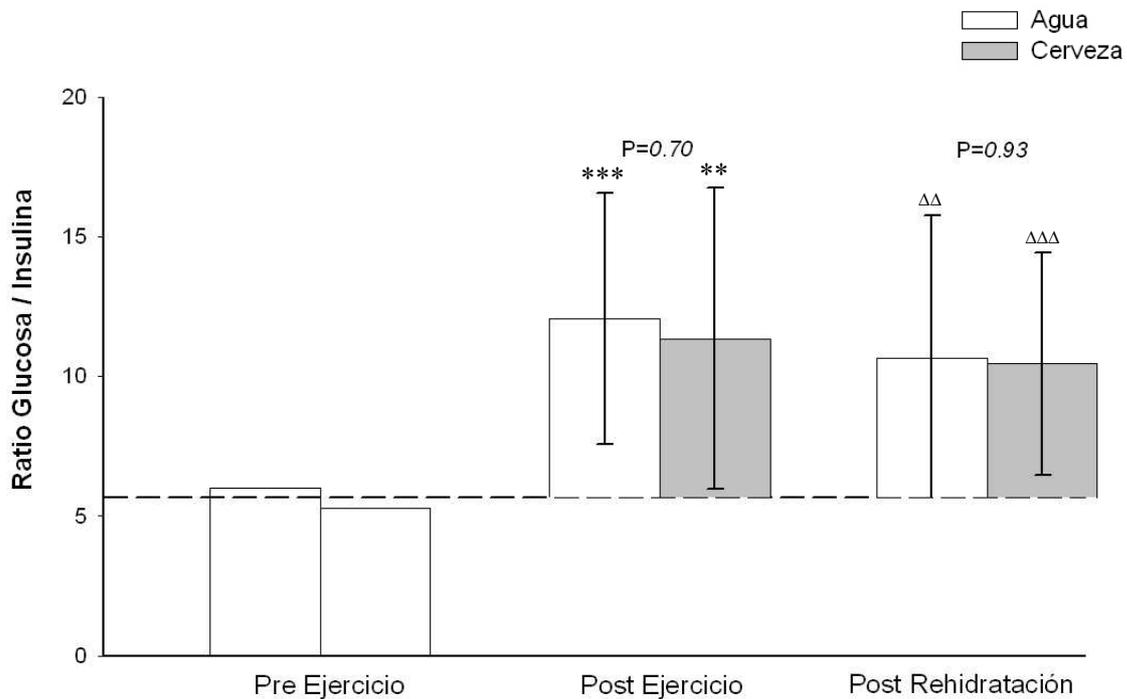
Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ $p \leq 0,05$. $\Delta\Delta$ $p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Parámetros Hormonales

La tabla 16 muestra los datos correspondientes a parámetros endocrinos-metabólicos informando sobre la respuesta del sistema endocrino durante el estudio. Los datos muestran que la glucosa medida unos minutos después de la finalización del ejercicio se encuentra aumentada en una ocasión ($p<0,01$) y relativamente constante en la otra. En ambas ocasiones se produjeron descensos en los niveles de insulina que no llegaron a ser estadísticamente significativos debido a la amplia variabilidad interindividual. Tras el periodo de rehidratación los valores de glucosa disminuyen significativamente llegando a estar ligeramente por debajo de los valores iniciales ($p<0,001$). Dichos efectos se producen de forma similar al ingerir un tipo de bebida u otro ($p=0,51$).

La figura 21 nos muestra los cambios producidos en la ratio glucosa-insulina a lo largo del estudio ajustando los posibles efectos de interacción existentes en ambas sustancias por separado. Tras el ejercicio la dicha ratio aumenta significativamente (ambos $p<0,01$) mientras que tras la rehidratación la ratio baja aunque de forma no significativa y quedando elevada con respecto a los niveles basales con ambos tipos de bebidas (ambos $p<0,01$).



** $p \leq 0,01$ y *** $p \leq 0,001$ entre pre-post ejercicio
 $\Delta\Delta p \leq 0,01$ y $\Delta\Delta\Delta p \leq 0,001$ entre pre ejercicio y post rehidratación

Figura 21. Ratio Glucosa/Insulina antes del ejercicio, después del ejercicio y tras la rehidratación sólo con agua o cerveza más agua.

Por otro lado, las dos hormonas de estrés Cortisol y HGH (figura 22), aumentan sus niveles significativamente tras el ejercicio intenso en ambiente caluroso (tabla 16). Tras el periodo de rehidratación se observa los valores de ambas hormonas disminuyen significativamente con ambos tipos de bebidas (todo $p < 0,05$) incluso quedando significativamente por debajo de los niveles basales en el caso del cortisol (ambos $p < 0,01$). No se observaron diferencias entre los descensos de estas hormonas en función de la bebida ingerida (tabla 16).

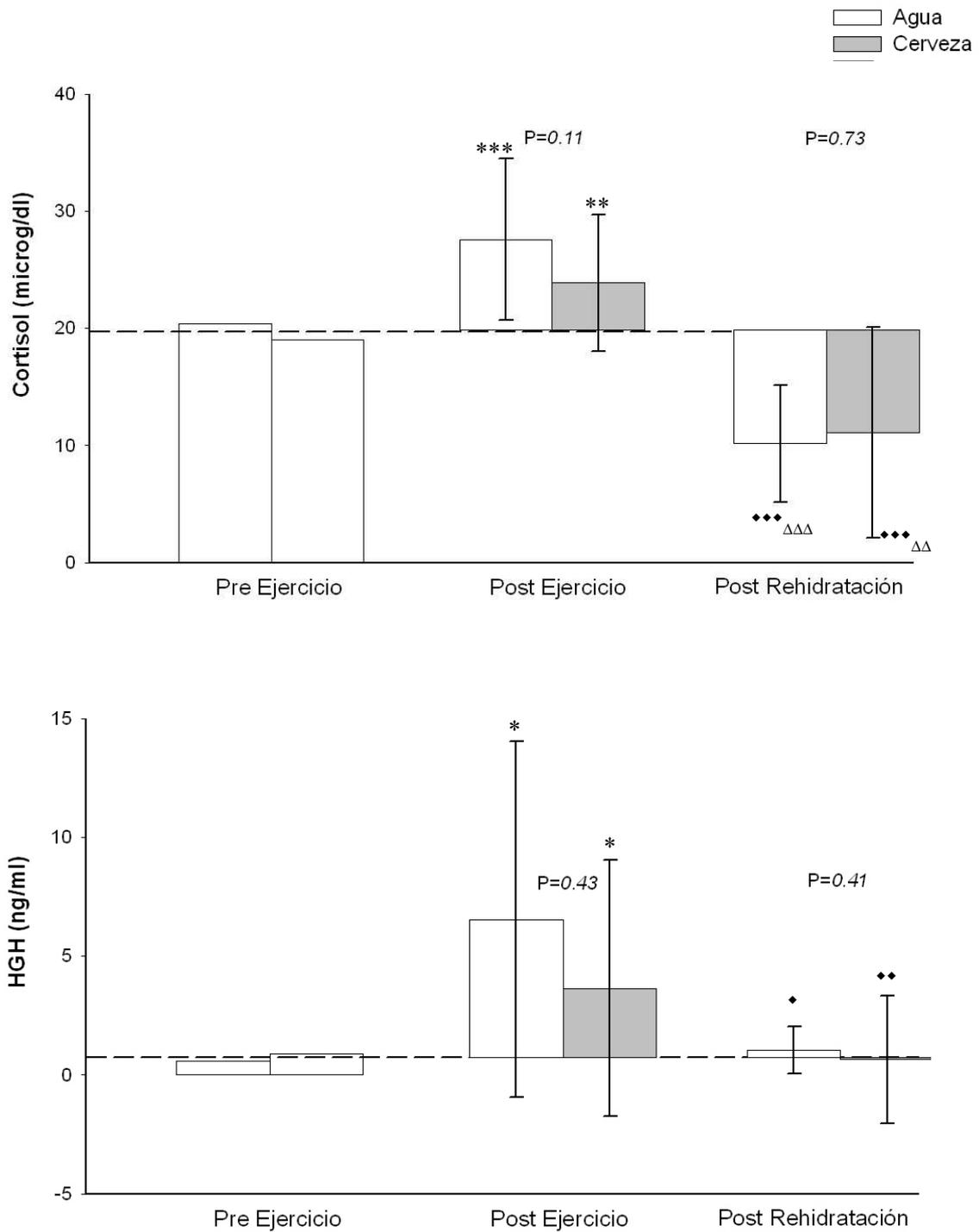


Figura 22. Niveles de cortisol y HGH antes del ejercicio, después del ejercicio y tras el periodo de rehidratación sólo con agua o con cerveza más agua.

** $p \leq 0,01$ y *** $p \leq 0,001$ entre pre-post ejercicio

ΔΔ $p \leq 0,01$ y ΔΔΔ $p \leq 0,001$ entre pre ejercicio y post rehidratación

Tabla 16. Parámetros endocrino-metabólicos (media ± DE) medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Glucosa (mg/dl)	Agua	82 ± 13	95 ± 8 **	80 ± 6 ***	} p = 0,51
	Cerveza	87 ± 14	89 ± 8	76 ± 10 *** _{ΔΔ}	
Insulina (μU/ml)	Agua	18,1 ± 11,2	10,2 ± 8,4	9,7 ± 7,6 Δ	} p = 0,42
	Cerveza	22,7 ± 14,2	14,4 ± 21,5	8,3 ± 3,5 ΔΔ	
Ratio Glucosa/Insulina	Agua	6,0 ± 3,0	12,4 ± 5,1 ***	11,0 ± 4,8 ΔΔ	} p = 0,35
	Cerveza	5,3 ± 3,0	11,0 ± 5,2 **	10,2 ± 3,9 ΔΔΔ	
Cortisol (μg/dl)	Agua	20,4 ± 4,7	28,1 ± 8,9 ***	10,7 ± 3,4 *** _{ΔΔΔ}	} p = 0,53
	Cerveza	19,0 ± 4,9	23,6 ± 6,4**	10,2 ± 6,0*** _{ΔΔ}	
HGH (ng/ml)	Agua	0,6 ± 0,8	6,5 ± 7,4 *	0,9 ± 1,0 ♦	} p = 0,17
	Cerveza	0,5 ± 0,9	4,6 ± 5,0 *	0,3 ± 0,3**	

Post- vs Pre-Ejercicio * p ≤ 0,05. ** p ≤ 0,01. *** p ≤ 0,001.

Rehidratación vs Post-Ejercicio ♦ p ≤ 0,05. ♦♦ p ≤ 0,01. ♦♦♦ p ≤ 0,001.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ p ≤ 0,05. ΔΔ p ≤ 0,01. ΔΔΔ p ≤ 0,001.

Rehidratación con Agua vs. Cerveza+Agua } Significación

*p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01 y ***p ≤ 0,001 entre pre-post ejercicio.

♦p ≤ 0,05, ♦♦p ≤ 0,01 y ♦♦♦p ≤ 0,001 entre post ejercicio y post rehidratación.

ΔΔ p ≤ 0,01 y ΔΔΔ p ≤ 0,001 entre pre ejercicio y post rehidratación.

Parámetros de daño Muscular e Inflamación

A continuación se muestran los resultados de los parámetros de daño muscular o inflamatorio tras el periodo de carrera y la posterior rehidratación recogidos en la tabla 17.

Parámetros de daño muscular.

El indicador de lesión tisular conocido como LDH se muestra significativamente incrementado tras el periodo de ejercicio de carrera (todo $p \leq 0,05$). Tras el periodo de rehidratación los niveles de LDH se mantienen ligeramente elevados con respecto a los niveles basales ($p < 0,05$) pero no continúan aumentado con respecto al final del ejercicio (figura 23). Dicha evolución fue similar para los dos tipos de rehidratación (tabla 17). Otro parámetro indicativo de lisis muscular, la CPK, muestra tras la carrera (figura 23) un aumento significativo en sus niveles (ambos $p < 0,01$). Tras la rehidratación dichos niveles descienden ligeramente sin significación estadística y quedan elevados sobre el nivel basal inicial (ambos $p < 0,05$).

Parámetros de inflamación.

Con respecto a la secreción salival de la IgA, los resultados del presente estudio, revelan un aumento significativo ($p < 0,05$) en los niveles de IgA después del ejercicio físico (figura 23). Dichos niveles disminuyeron hasta valores basales tras la rehidratación aunque sin significación estadística, y en la misma medida al rehidratarse con cerveza más agua o sólo agua (tabla 17).

La homocisteína muestra una tendencia a incrementar tras el ejercicio y tras la rehidratación pero no llegando a mostrar significación estadística. En la misma línea, no se observaron diferencias significativas en los niveles de homocisteína después del periodo de rehidratación entre ambos tipos de bebidas. Los niveles de proteína-C-reactiva (PCR) no se muestran alterados ni después del protocolo de ejercicio físico ni tras la rehidratación. Tampoco existen diferencias en función del tipo de bebida ingerida (tabla 17).

Tabla 17. Parámetros analíticos y de saliva (media ± DE) indicativos de daño muscular y/o inflamación, medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Láctico Deshidrogenasa (U/l)	Agua	353 ± 66	375 ± 60 *	396 ± 59 Δ	} $p = 0,13$
	Cerveza	336 ± 64	389 ± 50 **	381 ± 44 Δ	
Creatin fosfoquinasa (U/l)	Agua	201 ± 191	246 ± 206***	225 ± 186	} $p = 0,78$
	Cerveza	280 ± 353	339 ± 402**	309 ± 367	
Ig A Salival (IgA) (mg/l)	Agua	10,5 ± 4,5	19,6 ± 12,1*	8,3 ± 2,9*	} $p = 0,44$
	Cerveza	11,9 ± 5,1	21,4 ± 11,4*	8,4 ± 5,2* Δ	
Homocisteína (µmol/l)	Agua	11,2 ± 7,1	12,7 ± 8,9	14,0 ± 11,6	} $p = 0,84$
	Cerveza	10,7 ± 5,3	12,4 ± 7,3	13,1 ± 6,2	
Proteína C-Reactiva (mg/l)	Agua	1,19 ± 1,49	1,22 ± 1,57	1,16 ± 1,47	} $p = 0,31$
	Cerveza	1,11 ± 1,15	1,11 ± 1,23	1,06 ± 1,17	

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio \blacklozenge $p \leq 0,05$. $\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,01$. $\blacklozenge\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ $p \leq 0,05$. $\Delta\Delta$ $p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

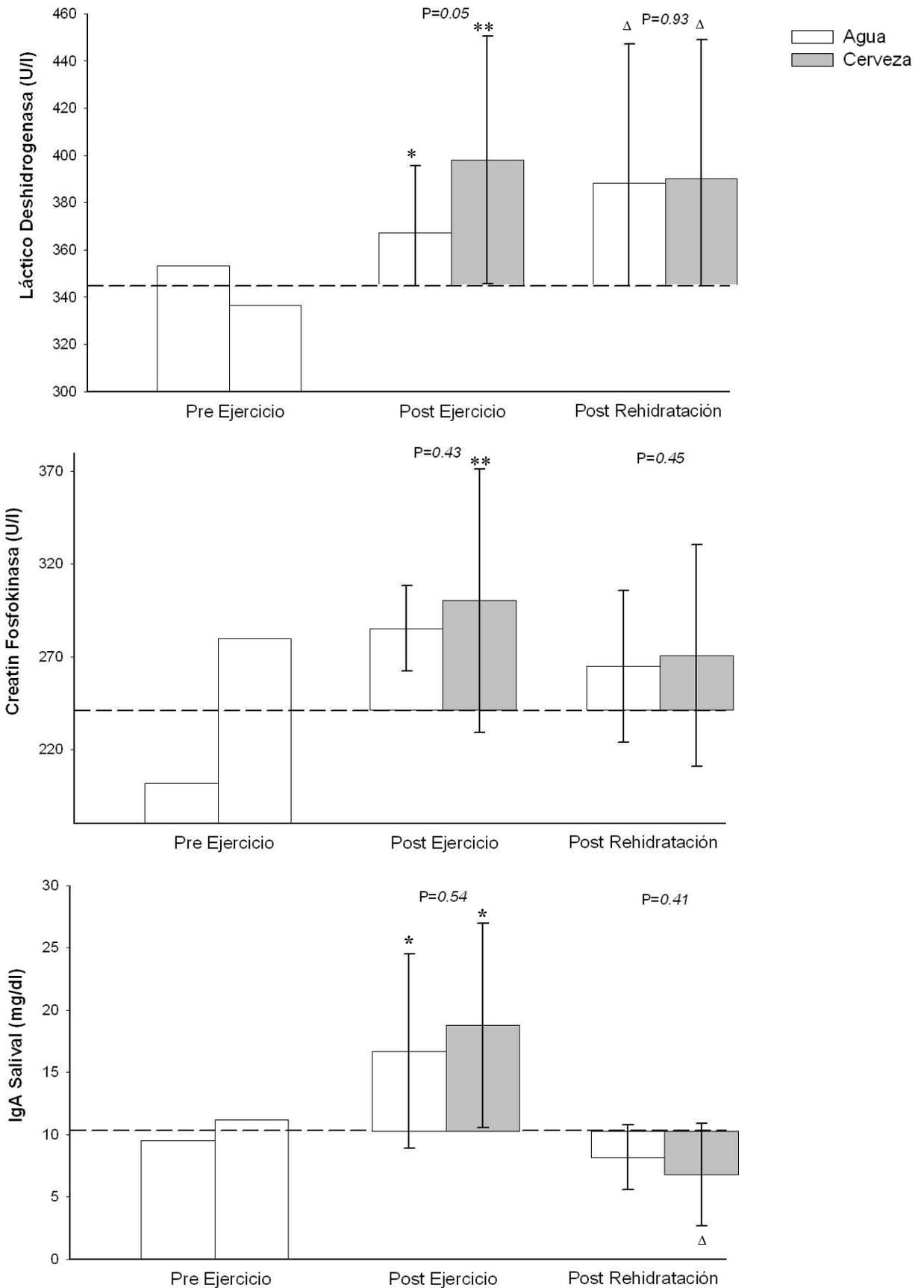


Figura 23. Niveles de LDH, CPK y IgA antes del ejercicio, después del ejercicio y tras el periodo de rehidratación sólo con agua o con cerveza más agua.

Parámetros inmunológicos

Células hemáticas de la serie blanca.

En la tabla 18 se muestran los resultados correspondientes a la medida de la serie blanca leucocitaria realizada en el presente estudio. Se puede observar un aumento en el recuento de leucocitos totales tras el ejercicio ($p < 0,001$). Estos valores permanecieron elevados tras el período de rehidratación sin que se hayan apreciado diferencias en función del tipo de bebida rehidratante consumida (figura 24).

Tabla 18. Fórmula leucocitaria (media \pm DE) indicativos de daño muscular y/o inflamación, medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Leucocitos (x103/ml)	Agua	5,83 \pm 1,19	8,55 \pm 1,99 ***	9,45 \pm 1,03 $\Delta\Delta\Delta$	} $p = 0,18$
	Cerveza	5,74 \pm 1,35	8,99 \pm 2,35 ***	9,41 \pm 2,44 $\Delta\Delta\Delta$	
Neutrófilos (x103/ml)	Agua	3,54 \pm 0,82	6,50 \pm 1,98 ***	7,00 \pm 1,09 $\Delta\Delta\Delta$	} $p = 0,32$
	Cerveza	3,52 \pm 1,09	6,77 \pm 2,03 ***	7,12 \pm 2,43 $\Delta\Delta\Delta$	
Linfocitos (x103/ml)	Agua	1,70 \pm 0,49	1,55 \pm 0,27	1,96 \pm 0,48*** Δ	} $p = 0,03$
	Cerveza	1,71 \pm 0,40	1,75 \pm 0,45	1,87 \pm 0,26	
Monocitos (x103/ml)	Agua	0,35 \pm 0,17	0,33 \pm 0,11	0,35 \pm 0,09	} $p = 0,84$
	Cerveza	0,32 \pm 0,14	0,33 \pm 0,14	0,33 \pm 0,08	
Eosinófilos (x103/ml)	Agua	0,20 \pm 0,16	0,13 \pm 0,15 ***	0,09 \pm 0,12** $\Delta\Delta\Delta$	} $p = 0,59$
	Cerveza	0,14 \pm 0,08	0,09 \pm 0,09 ***	0,06 \pm 0,04 $\Delta\Delta\Delta$	
Basófilos (x103/ml)	Agua	0,04 \pm 0,05	0,03 \pm 0,02	0,03 \pm 0,02	} $p = 0,86$
	Cerveza	0,03 \pm 0,02	0,03 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio \blacklozenge $p \leq 0,05$. $\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,01$. $\blacklozenge\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ $p \leq 0,05$. $\Delta\Delta$ $p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Subpoblaciones Linfocitarias

Con respecto a la rehidratación post-ejercicio, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos (agua vs cerveza). Los valores de leucocitos y neutrófilos siguieron una tendencia a aumentar después de la hidratación con ambos tratamientos por lo que, *a priori*, 2 horas de hidratación, en las condiciones del presente estudio, no son suficientes para hacer volver los niveles de neutrófilos a los valores basales (tabla 19), independientemente del tipo de bebida utilizada para la rehidratación.

Dado que las diferencias entre rehidratación con cerveza y agua, con respecto a los valores de leucocitos y neutrófilos no son significativas ($p=0,18$ y $p=0,32$), los resultados del presente estudio sugieren que la rehidratación con un consumo moderado de cerveza produce al menos, los mismos efectos sobre los leucocitos y neutrófilos que la rehidratación solamente con agua después del ejercicio.

Con respecto a los porcentajes de linfocitos tras la rehidratación, curiosamente se puede observar una disminución en el porcentaje de linfocitos T maduros (CD3) ($p<0,05$) pero únicamente en los sujetos que se rehidrataron con agua (tabla 19), lo cual se acompaña de un aumento en el porcentaje de linfocitos NK (CD16+56) (tabla 19). Este hecho sugiere, que la disminución del porcentaje de linfocitos T maduros (CD3) se ha compensado con un aumento de los linfocitos NK (CD16+56) en los sujetos que se rehidrataron únicamente con agua. Por el contrario, la rehidratación con cerveza no afectó de manera significativa la distribución de las distintas subpoblaciones linfocitarias. De modo general, la disminución de los linfocitos T maduros (CD3) a costa de un aumento de las células NK observada en los sujetos rehidratados con agua, indica una disminución de la inmunidad celular frente a un aumento de la inmunidad inespecífica.

Tabla 19. Porcentaje de subpoblaciones linfocitarias (media \pm DE) indicativos de daño muscular y/o inflamación, medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
CD8 (%)	Agua	21,6 \pm 4,2	21,8 \pm 5,4	22,2 \pm 6,0	} $p = 0,46$
	Cerveza	20,6 \pm 5,3	21,7 \pm 5,4	21,7 \pm 6,6	
CD4 (%)	Agua	34,0 \pm 3,4	34,4 \pm 4,7	35,0 \pm 5,0	} $p = 0,37$
	Cerveza	32,2 \pm 4,2	33,6 \pm 4,0	36,1 \pm 5,4 Δ	
CD3 (%)	Agua	64,7 \pm 7,3	64,7 \pm 5,7	60,4 \pm 8,3 \diamond	} $p = 0,10$
	Cerveza	66,4 \pm 10,7	63,9 \pm 9,9	63,7 \pm 10,0	
CD 16+56 (%)	Agua	5,1 \pm 1,7	5,0 \pm 1,4	5,9 \pm 1,9 \diamond	} $p = 1,00$
	Cerveza	5,5 \pm 1,9	5,4 \pm 1,5	6,1 \pm 2,3	
CD19 (%)	Agua	12,2 \pm 2,7	13,1 \pm 3,3	12,5 \pm 2,4	} $p = 0,38$
	Cerveza	11,8 \pm 2,0	12,5 \pm 2,7	12,8 \pm 3,0	

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio $\diamond p \leq 0,05$. $\diamond\diamond p \leq 0,01$. $\diamond\diamond\diamond p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Pre-ejercicio $\Delta p \leq 0,05$. $\Delta\Delta p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Proteínas de inflamación y citoquinas

Tabla 20. Ceruloplasmina y factores 3 y 4 del complemento (media \pm DE) indicativos de daño muscular y/o inflamación, medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Ceruloplasmina (mg/dl)	Agua	31,7 \pm 4,0	33,7 \pm 4,8 *	32,4 \pm 4,4	} $p = 0,09$
	Cerveza	31,5 \pm 4,3	33,1 \pm 4,4 *	33,3 \pm 4,7	
C3 (g/l)	Agua	0,98 \pm 0,12	1,01 \pm 0,11 *	0,99 \pm 0,11	} $p = 0,50$
	Cerveza	0,96 \pm 0,10	1,00 \pm 0,12 ***	1,02 \pm 0,11 $\Delta\Delta$	
C4 (g/l)	Agua	0,23 \pm 0,06	0,24 \pm 0,07 **	0,23 \pm 0,07	} $p = 0,51$
	Cerveza	0,22 \pm 0,07	0,24 \pm 0,07 **	0,23 \pm 0,07	

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio \blacklozenge $p \leq 0,05$. $\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,01$. $\blacklozenge\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ $p \leq 0,05$. $\Delta\Delta$ $p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Tabla 21. Producción de citoquinas por PMBC (media \pm DE) indicativos de daño muscular y/o inflamación, medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
IFN- γ (pg/ml)	Agua	94418 \pm 62503	71723 \pm 52308 *	120047 \pm 69851 \diamond Δ	} $p = 0,13$
	Cerveza	69112 \pm 72899	76292 \pm 61690	136372 \pm 81986	
TNF- α (pg/ml)	Agua	480,1 \pm 403,3	288,4 \pm 296,2	524,0 \pm 328,4*	} $p = 0,90$
	Cerveza	324,8 \pm 331,1	382,2 \pm 263,9	595,8 \pm 364,6 Δ	
IL-10 (pg/ml)	Agua	25,91 \pm 21,95	18,94 \pm 14,24	31,79 \pm 29,04	} $p = 0,21$
	Cerveza	18,07 \pm 18,56	24,39 \pm 20,44	31,79 \pm 16,98 Δ	
IL-5 (pg/ml)	Agua	1905 \pm 1104	1418 \pm 1416	1383 \pm 1093	} $p = 0,32$
	Cerveza	1533 \pm 1449	2235 \pm 1404	1630 \pm 1282	
IL-4 (pg/ml)	Agua	236,1 \pm 114,4	211,6 \pm 125,9	218,2 \pm 108,1	} $p = 0,17$
	Cerveza	175,8 \pm 138,9	242,8 \pm 112,7 *	247,2 \pm 128,0	
IL-2 (pg/ml)	Agua	752,1 \pm 780,2	350,1 \pm 477,5 *	451,9 \pm 603,9 Δ	} $p = 0,72$
	Cerveza	533,7 \pm 556,2	436,4 \pm 385,4	724,5 \pm 912,0	

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio \diamond $p \leq 0,05$. $\diamond\diamond$ $p \leq 0,01$. $\diamond\diamond\diamond$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ $p \leq 0,05$. $\Delta\Delta$ $p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

Efectos sobre la función psico-cognitiva. Habilidades perceptivo-motrices

Tiempo de Reacción

En la tabla 22 se presentan los datos de habilidades perceptivo–motrices relativos a los tiempos de reacción. Se observa que transcurrida la carrera no se producen cambios significativos sobre las variables: TRs y TRd, total de respuestas ante estímulos múltiples, número de respuestas incorrectas ante estímulos múltiples, número de respuesta dentro de tiempo ante estímulos múltiples ni sobre el número de respuestas correctas ante estímulos múltiples. Mientras que se aprecia un descenso significativo tanto en la duración del test de estímulos múltiples como en el TRm (figura 24).

Las variables que no cambiaron significativamente tras la carrera permanecen sin sufrir cambios tras el periodo de rehidratación independientemente de que se incluya cerveza o no (tabla 22). Por otro lado, se observa que tras la rehidratación la duración del test de estímulos múltiples disminuye ($p<0,01$) cuando se consume cerveza y el tiempo de reacción también se acorta si bien en este caso ocurre igual con ambos tipos de rehidratación (ambas $p<0,05$) (figura 24). Ambas variables permanecen tras la rehidratación con valores significativamente inferiores a los basales (todo $p<0,05$), sin mostrar diferencias en función del tipo de bebida ingerida (tabla 22).

Tabla 22. Variables de Tiempos de Reacción (media \pm DE), medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, los sujetos siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza tras Rehidratación
Tiempo Reacción Simple (ms)	Agua	252 \pm 34	268 \pm 51	263 \pm 38	} $p = 0,49$
	Cerveza	251 \pm 33	269 \pm 53	268 \pm 54	
Tiempo de Reacción Discriminativo (ms)	Agua	383 \pm 71	358 \pm 61	378 \pm 73	} $p = 0,24$
	Cerveza	389 \pm 83	371 \pm 73	380 \pm 87	
TEM Duración (Minutos)	Agua	15.2 \pm 1.1	14.4 \pm 0.8**	14.2 \pm 0.9 Δ	} $p = 0,95$
	Cerveza	14.9 \pm 0.7	14.6 \pm 0.8*	13.9 \pm 0.6 $\blacklozenge\blacklozenge\Delta\Delta\Delta$	
TEM Tiempo de Reacción (ms)	Agua	654 \pm 60	619 \pm 60 ***	605 \pm 51 $\blacklozenge\Delta\Delta\Delta$	} $p = 0,13$
	Cerveza	652 \pm 47	627 \pm 51 **	612 \pm 44 $\blacklozenge\blacklozenge\Delta\Delta\Delta$	
TEM Total Respuestas (sobre 540)	Agua	548 \pm 10	550 \pm 10	547 \pm 6	} $p = 0,74$
	Cerveza	544 \pm 12	551 \pm 16	548 \pm 8	
TEM Respuestas Incorrectas	Agua	16 \pm 11	17 \pm 8	13 \pm 7	} $p = 0,96$
	Cerveza	14 \pm 16	13 \pm 5	11 \pm 8	
TEM Respuestas dentro de Tiempo	Agua	524 \pm 14	525 \pm 10	531 \pm 7	} $p = 0,49$
	Cerveza	522 \pm 18	525 \pm 11	531 \pm 7	
TEM Respuestas Correctas	Agua	533 \pm 6	532 \pm 7	535 \pm 5	} $p = 0,24$
	Cerveza	529 \pm 5	531 \pm 7	535 \pm 4	

TEM: Test de Estímulos Múltiples (medida de atención, discriminación, coordinación, reacción)

Post- vs Pre-Ejercicio * $p \leq 0,05$. ** $p \leq 0,01$. *** $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Post-Ejercicio \blacklozenge $p \leq 0,05$. $\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,01$. $\blacklozenge\blacklozenge\blacklozenge$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ $p \leq 0,05$. $\Delta\Delta$ $p \leq 0,01$. $\Delta\Delta\Delta$ $p \leq 0,001$.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

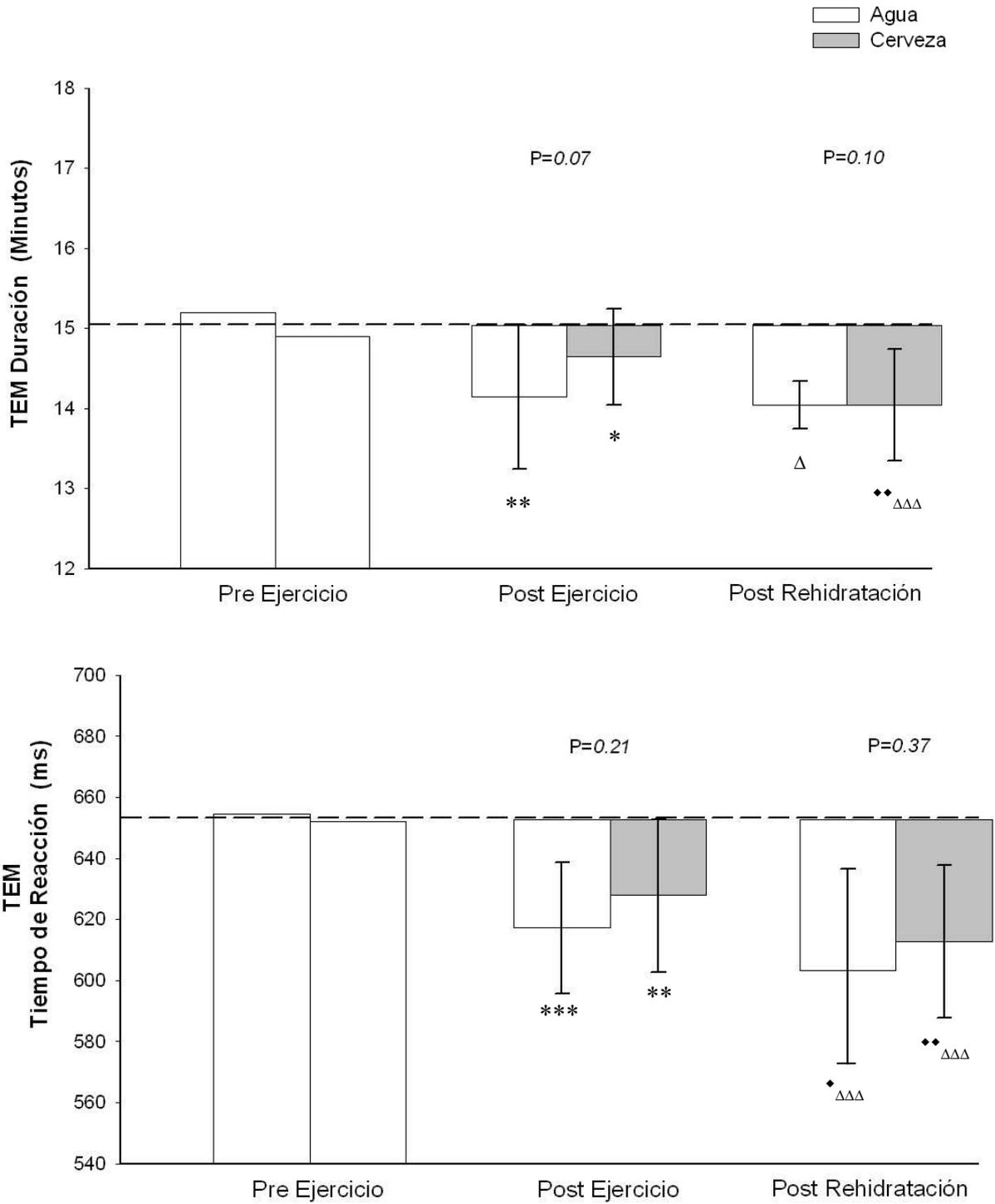


Figura 24. Duración y tiempo de reacción en el Test de Estímulos Múltiples (TEM), antes del ejercicio, después del ejercicio y tras el periodo de rehidratación sólo con agua o con cerveza

Percepción Periférica

En la tabla 23 se presentan los datos relativos al test de percepción periférica. Se observa que una vez finalizada la carrera hay un descenso significativo en la duración del test ($p < 0,05$). El tiempo de reacción periférico muestra una tendencia similar al de anteriores test de reacción descendiendo tras el ejercicio pero sin alcanzar diferencias significativas (figura 25). Por otro lado, tanto el campo visual (figura 25) como los ángulos de visión izquierdo y derecho descienden varios grados tras la realización de la carrera pero sin llegar a ser significativos estadísticamente (tabla 23). Tampoco cambia el número de estímulos periféricos omitidos.

Cuando los sujetos se rehidratan tanto con cerveza y agua como con agua, no se producen cambios significativos en ninguna de las variables analizadas y descritas en la tabla 23, permaneciendo todas ellas estables.

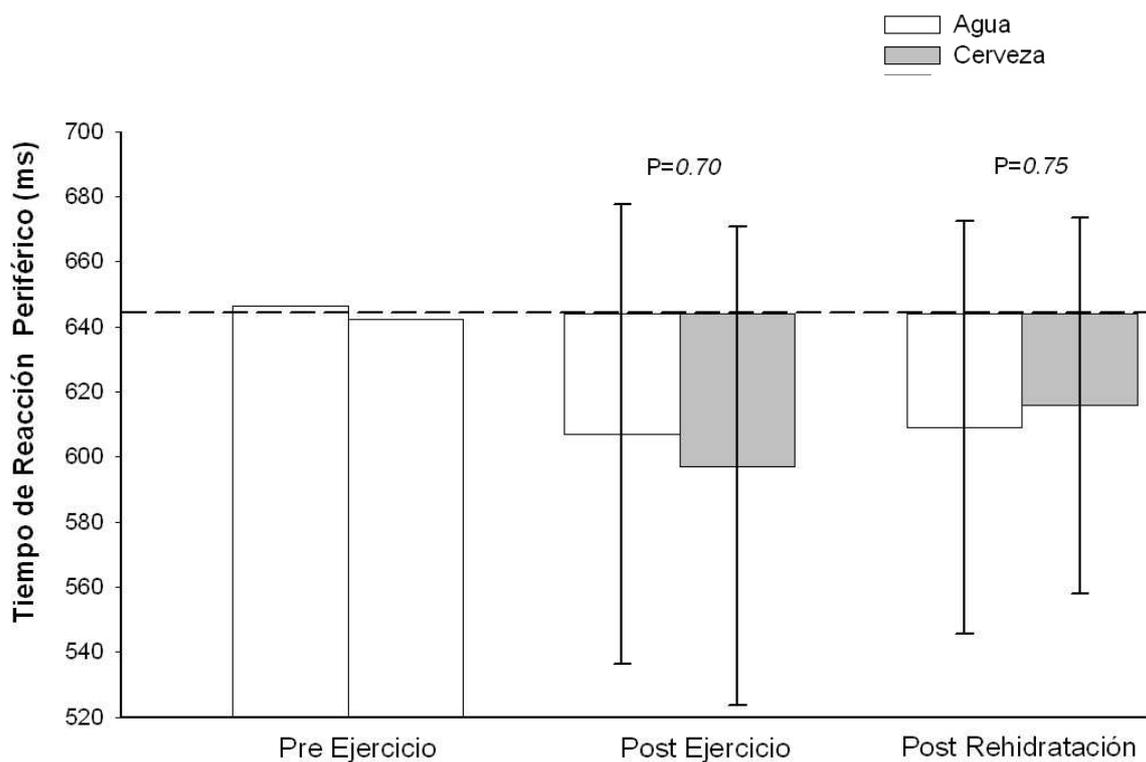


Figura 25. Tiempo de reacción periférico y campo de visión, antes del ejercicio, después del ejercicio y tras el periodo de rehidratación sólo con agua o con cerveza más agua.

Tabla 23. Variables de Percepción Periférica (media ± DE), medidos en 16 sujetos que se sometieron en orden aleatorio a dos pruebas de ejercicio de igual intensidad y en condiciones de elevada temperatura ambiental. Al finalizar el ejercicio, siguieron durante 2h un protocolo de rehidratación consistente en agua ad libitum (Agua) o 660 ml de cerveza seguido de agua ad libitum (Cerveza). Las medidas se hicieron inmediatamente antes de comenzar el ejercicio (Pre-Ejercicio), al finalizar el ejercicio (Post-Ejercicio) y al finalizar el periodo de rehidratación (Rehidratación).

		Pre-Ejercicio	Post-Ejercicio	Rehidratación	Agua vs Cerveza Tras Rehidratación
Duración (minutos)	Agua	7,9± 1,1	6,9 ± 0,9 **	7,1 ± 2,2	} p = 0,29
	Cerveza	7,5 ± 0,8	6,9 ± 0,7 *	7,9 ± 4,4	
Campo Visual (grados)	Agua	175 ± 9	171 ± 7	172 ± 6	} p = 0,60
	Cerveza	178 ± 7	174 ± 6	172 ± 5	
Ángulo Visual Izquierdo (grados)	Agua	93 ± 6	92 ± 4	91 ± 4	} p = 0,11
	Cerveza	94 ± 5	92 ± 4	91 ± 4	
Ángulo Visual Derecho (grados)	Agua	82 ± 5	79 ± 5	80 ± 4	} p = 0,83
	Cerveza	83 ± 4	82 ± 4	81 ± 3	
Estímulos Periféricos Omitidos	Agua	8 ± 5	8 ± 6	7 ± 6	} p = 0,98
	Cerveza	7 ± 5	6 ± 6	5 ± 6	
Tiempo de Reacción (ms)	Agua	656 ± 75	609 ± 60	617 ± 67	} p = 0,50
	Cerveza	636 ± 65	597 ± 52	619 ± 50	

Post- vs Pre-Ejercicio * p≤ 0,05. ** p≤ 0,01. *** p≤ 0,001.

Rehidratación vs Post-Ejercicio ♦ p≤ 0,05. ♦♦ p≤ 0,01. ♦♦♦p≤ 0,001.

Rehidratación vs Pre-ejercicio Δ p≤ 0,05. ΔΔ p≤ 0,01. ΔΔΔ p≤ 0,001.

Rehidratación con Agua vs Cerveza+Agua } Significación

DISCUSIÓN

Ejercicio y Cerveza

Las personas realizan ejercicio por muy diversos motivos y en condiciones muy variadas. En términos evolutivos la realización de ejercicio físico ha sido una condición necesaria para la búsqueda y aprovisionamiento de alimento y también para protegerse o defenderse de los distintos peligros que nos acechan tanto a nivel individual como colectivo. En la propia supervivencia como especie (en el hecho de reproducirse), el ejercicio físico y el buen estado de forma también desempeñan un papel relevante. Hoy día, la realización de ejercicio no es ya sólo una necesidad fisiológica, es también un determinante de bienestar y una fuente de placer. Hacer ejercicio es bueno, es agradable y ayuda a sentirse mejor. En este caso, la recompensa no es lo que se consigue como consecuencia de la realización de ejercicio sino su práctica en sí y todo lo que esa práctica conlleva.

Antes de proseguir con esta discusión, conviene realizar una necesaria puntualización terminológica. Aunque no son totalmente equiparables, en el presente trabajo utilizamos indistintamente los términos ejercicio, actividad física o incluso deporte. Estos tres términos incluyen actividades que tienen como resultado el movimiento fruto de la actividad muscular pero no son términos equiparables. La actividad física engloba cualquier tipo de actividad motora independientemente de cual sea su grado o motivación. Una persona realiza actividad física en su vida diaria (anda, sube escaleras, levanta objetos, etc), en el trabajo (hay trabajos con poca actividad física o sedentarios y trabajos que requieren un gran esfuerzo físico) y, lógicamente, cuando se realiza ejercicio o se hace deporte. La realización de ejercicio implica una voluntariedad y disposición para realizar esa actividad motora, aunque no haya necesidad de hacerla (por ejemplo, salir a correr) y se hace además de manera repetitiva y con el propósito de hacerlo. El deporte, o más genéricamente la actividad físico-deportiva, es una forma de ejercicio que, además de todo lo anterior, se atiene a unas normas, reglas o condicionantes más o menos estrictos. El deporte además puede realizarse de manera competitiva (con la finalidad de ganar) o no competitiva, y se puede hacer de manera profesional o como aficionado.

Sólo un pequeño número de personas hacen ejercicio, o mejor practican deporte, de manera competitiva y menos aún de forma profesional. Para la mayoría de la población, el deporte se realiza por el propio placer que conlleva o la recompensa personal que se deriva de su práctica: son los deportistas aficionados o amateurs. En este sentido, la sensación subjetiva que se tiene mientras se está realizando ejercicio y, sobre todo, al finalizar el mismo cobra especial relevancia. El presente trabajo tiene una clara orientación hacia este amplio grupo de población, y este tipo de actividad física, ejercicio o deporte. Y lógicamente, se orienta también a la recuperación, o incluso recompensa, que se tiene tras su práctica. Por un lado está el propio placer de practicarlo, por otro está la implicación social, las relaciones de índole personal que determina, el placer de la recompensa que supone ganar (o el estímulo de superación que pueda suponer perder) y, junto a todo ello, el placer que supone el descanso y la recuperación tras el esfuerzo que debe ser, lógicamente, lo más agradable o placentera posible. Ahí es donde la rehidratación, y en especial con una bebida que resulte particularmente agradable al paladar, juega un papel fundamental. Si a todo ello se suma que la recuperación tras el esfuerzo y la rehidratación tienen una función social, estamos hablando de una dimensión que supera la sólo práctica de ejercicio. Ahí es donde interviene y juega un papel fundamental la cerveza. Ahora bien es preciso saber si esa práctica habitual en algunas personas de beber cerveza, en cantidad moderada, tras la realización de ejercicio, o cuando se tiene sed, es algo inefectivo, inadecuado o que debería desaconsejarse. Para aclarar esta importante cuestión es para lo que se ha desarrollado el presente trabajo de investigación y que da lugar a esta tesis doctoral.

La cerveza es una bebida clásicamente utilizada en los países occidentales para calmar la sed y, por tanto, para rehidratarse. Su consumo tras hacer ejercicio, y sudar, es práctica frecuente. La cerveza contiene fundamentalmente agua (95%) de ahí su importante efecto rehidratante. También contiene sales minerales, carbohidratos (maltodextrinas, oligosacáridos), vitaminas, antioxidantes, fibra soluble y otros componentes, todos estas sustancias pueden ser beneficiosas para la salud en general y para la recuperación tras el ejercicio físico en particular.

No obstante, la cerveza también contiene una cierta cantidad de alcohol por lo que su utilidad como bebida rehidratante podría ser cuestionable. Para aclarar esta cuestión se

ha llevado a cabo una revisión profunda de las investigaciones existentes hasta el momento y se ha realizado, de manera independiente y por dos centros de investigación, un estudio científico que permitiera valorar si la cerveza es una bebida adecuada para rehidratarse. Prácticamente no existen publicaciones que aborden esta problemática. Sí son muy abundantes las que estudian los procesos de deshidratación y rehidratación tras el ejercicio y proveen consejos sobre como realizarla, existiendo incluso documentos de consenso y directivas al respecto. Ya en el año 2000 el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM en sus siglas en inglés), junto a las Sociedades Americana y Canadiense de Dietética, daban unas pautas claras sobre la forma de hidratarse en relación con el ejercicio físico. En 2008, el propio ACSM ha adaptado estas recomendaciones a los nuevos hallazgos que han servido como base para el documento de consenso sobre bebidas para el deportista publicado por la Federación Española de Medicina del Deporte en 2009. El contenido de estos documentos ha sido ampliamente comentado en la introducción del presente trabajo.

Conseguir una adecuada rehidratación que reponga las pérdidas hidro-electrolíticas y reinstaure, rápida y completamente, los depósitos energéticos deplecionados, puede optimizar la velocidad de recuperación post-esfuerzo. Para conseguirlo, lo ideal es administrar una bebida que se absorba adecuadamente y consiga restablecer, en el menor tiempo posible, el equilibrio homeostático. Las características que debe tener esta bebida son un contenido en carbohidratos de 6-8%, un contenido moderado de sodio y una cierta cantidad de potasio. Estas propiedades están presentes en la cerveza. La cerveza también aporta substratos metabólicos que reemplazan otras pérdidas ocasionadas por el ejercicio como son aminoácidos, diversos minerales, vitaminas del grupo B y antioxidantes. Hay que destacar que la cerveza contiene 4 g de carbohidratos totales por 100 ml (que es prácticamente la cantidad recomendada para bebidas deportivas). De esta cantidad, la mayor parte son maltodextrinas de bajo peso molecular que se metabolizan lentamente liberando unidades de glucosa que pasan progresivamente a sangre. Por otra parte, el volumen y la frecuencia de la ingesta de la bebida están influenciados por características organolépticas como son la temperatura de ingesta, sabor, aroma y apariencia. No cabe duda que cuando se tiene calor las bebidas frías (7-13°C) son, por lógica, las preferidas. La carbonatación de la bebida también influye sobre la respuesta sensorial y la ingesta voluntaria de líquido. Entre

otras características, en la cerveza destacan su marcado efecto refrescante y su poder mitigador de la sensación de sed.

En relación al estudio científico desarrollado, se ha sometido a un grupo de sujetos a un protocolo de ejercicio extenuante (60 minutos corriendo en tapiz al 60% de la velocidad aerobia máxima) y en condiciones de elevada temperatura ambiental (35°C y 60% de humedad relativa). Este ejercicio, aunque realizado en laboratorio, reproducía una práctica deportiva al aire libre realizada en verano. El protocolo de ejercicio determinó unas pérdidas hídricas de 1,5-2 l, lo que correspondía a una pérdida de peso corporal del 2-2,5%. Los sujetos realizaron este protocolo de ejercicio en dos ocasiones, en orden aleatorio y separadas por tres semanas de intervalo. Tras una de las pruebas, se rehidrataban con agua en la cantidad deseada. Tras la otra, se rehidrataban con cerveza en cantidad moderada (660 ml) y a continuación agua a demanda.

Tras analizar una serie de parámetros indicativos del nivel de hidratación, composición corporal, hemo-metabólicos, inmuno-inflamatorios y psicocognitivos (coordinación, atención, discriminación, tiempos de percepción-reacción, campo visual...) susceptibles de verse influenciados por la cerveza y/o el alcohol que ésta contiene, inmediatamente después del ejercicio y tras dos horas después, no se ha encontrado ningún efecto que la haga desaconsejable. Al contrario, la cerveza permitía recuperar las pérdidas hídricas y las alteraciones de distinto tipo determinadas por el ejercicio, por lo menos en la misma medida que lo hace el agua. De hecho, varios de estos parámetros han tenido un comportamiento ligeramente mejor cuando se consumía cerveza en relación a lo que ocurría con el consumo sólo de agua. Los resultados sugieren también que la pequeña cantidad de alcohol presente en la cerveza, no es suficiente para comprometer el efecto rehidratante de un consumo moderado de cerveza sobre ninguno de esos parámetros fisiológicos o biopatológicos. Desde el punto de vista de la recuperación el consumo moderado de cerveza podría considerarse pues como un modo seguro y/o alternativo de rehidratación después de la práctica deportiva en las condiciones descritas en el presente estudio.

En este punto, es fundamental prestar atención al término “moderado” porque en este ámbito, como en cualquier otro aspecto de la vida, la moderación es fundamental. Sin moderación nada resulta saludable, ni siquiera la práctica de ejercicio. Junto a la

moderación es preciso también atender a la lógica y la responsabilidad. Si una persona no tolera bien el alcohol, toma algún fármaco o tiene una enfermedad que contraindica su consumo, o se trata de un niño, adolescente, persona de riesgo, mujer embarazada o, simplemente, va a conducir, va a realizar una actividad que pueda verse afectada por el alcohol o se encuentra en plena competición, debe abstenerse siempre de consumir alcohol. Al igual que también debe abstenerse de realizar ejercicio si se tiene alguna contraindicación para hacerlo. En definitiva, cerveza y deporte no son antagónicos sino que, con moderación y sentido común, son complementarios, placenteros y saludables.

Efectos del ejercicio en ambiente caluroso

Nivel de sobrecarga funcional

El protocolo de carrera utilizado, cuyo objetivo principal fue realizar un esfuerzo físico importante y propiciar un estado de deshidratación considerable, no sólo consiguió determinar una acusada sensación de sed sino que también supuso un estrés fisiológico significativo, tal y como indican dos variables, una objetiva y otra subjetiva, medidas durante la prueba, como son la frecuencia cardíaca y la RPE. Se observa cómo la frecuencia cardíaca media final de la prueba supuso el 95% de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante el test de inclusión. Esto, junto con una RPE media de 18 (sobre un máximo posible de 20) y una puntuación media en la escala de sed de 9 (sobre un máximo de 10), mostró que dicho protocolo supuso una intensidad muy elevada pese a tener una velocidad constante, y susceptible de determinar una pérdida hídrica significativa.

Es previsible que se potencien sinérgicamente el grado de sobrecarga física que supone el ejercicio, el ambiente de calor en que se realiza y la importante pérdida hídrica que se produce. Esto coincide con lo afirmado por otros autores (Cheuvront, Carter y Sawka, 2003). De hecho, tanto el esfuerzo en sí, como la propia deshidratación son determinantes de alteraciones de la función cardiovascular, respuesta termoreguladora, incremento de la frecuencia cardíaca y RPE, por todo lo cual se afecta no sólo el rendimiento deportivo (Cheuvront, Carter y Sawka, 2003; Sawka *et al.*, 2007; Sawka y Coyle, 1999), particularmente en referencia al ejercicio aerobio (Casa, Clarkson y

Roberts, 2005; Chevront, Carter y Sawka, 2003), sino también la velocidad y eficacia del proceso de recuperación.

Pérdidas hídricas y sus consecuencias



Figura 26. Consecuencias de la pérdida de agua en el deportista. Tomada de Juan Carlos González (2006). *Ayudas ergogénicas y nutricionales*

La pérdida de agua ocasiona disminución del peso corporal. De hecho, dichas pérdidas se suelen expresar en términos de porcentaje de pérdida del peso corporal. Niveles de pérdida de peso corporal superiores al 2% pueden considerarse indicativos de deshidratación (Montain, 2008; Sawka *et al.*, 2007; Palacios *et al.*, 2008). Para una persona de 70 kg, una pérdida de 2 kg de peso, se corresponde con un nivel de deshidratación del 3%. En estas circunstancias, la persona percibe ya cierto nivel de alteración funcional. Con pérdidas en torno a 3-4 kg, el nivel de deshidratación es del 5% y, en estas circunstancias existe riesgo de agotamiento por el calor y/o la deshidratación. Con pérdidas de peso en torno a 5 kg, el nivel de deshidratación es del 7% y la persona ya presenta alucinaciones, lo que pone de manifiesto el peligro de la situación en que se encuentra el sujeto. Con pérdidas en torno a 7 kg, el nivel de

deshidratación es del 10%, lo que resulta una situación extremadamente peligrosa con riesgo evidente de golpe de calor y desfallecimiento.

En cuanto a lo que se pueden considerar valores límite en la tasa de sudoración, no existen unos valores universalmente aceptados, pero se estiman como valores críticos cuando se pierde un 4-6% del peso corporal, y ello en función de que el sujeto se encuentre aclimatado o no. Por tanto, se puede fijar un valor del 5% de pérdida de peso corporal como un límite máximo de pérdida hídrica una vez tomado en consideración todo el balance de ingesta/pérdidas que se tenga.

Cuando se realiza ejercicio en ambientes calurosos una consecuencia fisiológica de carácter compensador que también es preciso tomar en consideración es la hiperventilación, con la que se fuerza la evaporación de agua a partir de las mucosas respiratorias. Esto trae como consecuencia una mayor pérdida de CO₂ que proviene de la disociación del ácido carbónico presente en la sangre. Al disminuir ese ácido, se produce alcalosis respiratoria. En esas circunstancias, disminuyen los hidrogeniones presentes en plasma los cuales se separan de la albúmina a la que se encuentran unidos. A las cargas negativas que quedan libres en la albúmina comienzan a unirse otras cargas positivas, entre las que destaca el Ca⁺⁺, y se produce una situación de hipocalcemia funcional (baja el calcio iónico aunque se mantiene el calcio total). La consecuencia de esa hipocalcemia funcional es irritabilidad, excitabilidad mental e incluso delirio, excitabilidad muscular, tetania y hasta convulsiones. La salida de esta situación tan grave pasa por recuperar el pH (haciendo que el sujeto respire su propio aire durante pequeños períodos de tiempo) y se rehidrate adecuadamente.

La deshidratación se asocia con una disminución de la estabilidad cardiovascular, alteración de la presión intracraneal y reducción de la adaptación del flujo sanguíneo a cambios ortostáticos, lo que puede ocasionar desvanecimiento o mareo. Como consecuencia del aumento de la temperatura corporal se produce vasodilatación cutánea lo cual hace que disminuya la sangre que vuelve al corazón (Figura 26). Para compensarlo, se produce aumento de la frecuencia cardíaca que se suma a la que determina el ejercicio. Si a esto se añade que, como consecuencia de las pérdidas sudorales disminuye el volumen plasmático, tenemos un tercer mecanismo que

determina aumento de la frecuencia cardiaca y que no necesariamente se acompaña de aumento de la tensión arterial. La deshidratación ligada a la pérdida sudoral se agrava por la existencia de vómitos ocasionados por el sobreesfuerzo.

A nivel hemático, la deshidratación ocasiona hemoconcentración. Lo cual hace aumentar el hematocrito. Los hematíes también pierden agua fundamentalmente atraída por el aumento de la osmolaridad en plasma y por el aumento de la concentración de proteínas resultado de la hemoconcentración, aunque lógicamente existe una gran variabilidad de unos sujetos a otros.

La deshidratación aumenta el riesgo de agotamiento por calor y constituye un factor de riesgo para el temido golpe de calor. Este último se asocia también con otros factores tales como la elevada temperatura ambiental, exposición al sol, falta de aclimatación al calor, estrés, presencia de enfermedad intercurrente o ingesta de medicación, entre otros. Se ha descrito que la deshidratación está presente en un 15-20% de los casos de golpe de calor (Epstein, Mora, Shapiro, Sohar y Shemer, 1999).

Deshidratación y rendimiento físico

La pérdida de agua por sudoración, cuando es significativa, aumenta la sobrecarga fisiológica que supone el ejercicio. Esto se traduce en un aumento de la temperatura corporal interna y sensación subjetiva de esfuerzo. Cuanto mayor es el nivel de deshidratación, mayor es el grado de sobrecarga fisiológica para un mismo nivel de actividad. Con pérdidas en torno a 1 litro, la persona se siente cansada, en torno a 3 litros, se tienen dificultades para continuar con la actividad que se está realizando; y con pérdidas en torno a 4 litros, la sensación es de agotamiento e imposibilidad para continuar. Por otra parte, la tolerancia al calor es menor cuando las pérdidas hídricas han sido importantes. De hecho, la tasa de producción de sudor es menor en los sujetos deshidratados y, con ello, se dificulta una adecuada termo-regulación (González-Alonso, Mora-Rodríguez y Coyle, 2000).

Niveles de deshidratación por encima del 2% del peso corporal disminuyen el rendimiento físico en actividades de carácter aerobio, y el nivel de afectación aumenta conforme lo hace el grado de deshidratación (Montain, 2008; Sawka *et al.*, 2007;

Palacios *et al.*, 2008). Por el contrario, no se ha demostrado con suficiente evidencia que la deshidratación, con niveles de pérdida de peso corporal que llegan al 3-5%, afecte la fuerza muscular o el rendimiento en actividades de carácter anaerobio (Gutiérrez, Mesa, Ruiz, Chiroso y Castillo, 2003).

Factores fisiológicos individuales que contribuyen a disminuir el rendimiento en pruebas de carácter aerobio, y que se suman al efecto de la deshidratación, incluyen el aumento de la temperatura corporal, aumento de la sobrecarga cardiovascular, utilización de glucógeno, alteraciones de índole metabólica y alteración de la función psico-cinética. La situación de relativa hipertermia en la que se encuentra el sujeto determina un estado de hiperactivación metabólica que conlleva un aumento añadido en la utilización de las reservas de glucógeno, lo que facilita la aparición de fatiga de manera prematura. Estos factores, aunque son independientes entre sí, interactúan unos con otros potenciando su efecto deletéreo. La contribución relativa de cada uno y su papel en la disminución del rendimiento, depende también de otros factores tales como el tipo de actividad que se realice, las condiciones ambientales, el grado de aclimatación y el nivel de preparación física y psicológica con que cuente la persona. Tampoco es ajeno el apoyo que reciba y la recompensa que se derive o que pueda obtener de la actividad.

Parámetros fisiológicos indicativos del nivel de hidratación

Son muchos los métodos utilizados a la hora de establecer el estado de deshidratación o el nivel de pérdida hídrica que padece un individuo tras realizar ejercicio físico (Shierreffs, 2000, 2003), así como para valorar su recuperación tras rehidratación. Entre los más utilizados se encuentra la variación de peso, la concentración de hemoglobina en la sangre, el valor de hematocrito, la concentración plasmática de sodio, la bioimpedancia eléctrica o el estudio de diversos parámetros urinarios (Laursen *et al.*, 2006; Sawka *et al.*, Sawka y Coyle, 1999; Shirrefs, 2000, 2003, 2005).

En los últimos años, se ha puesto de manifiesto el interés de la utilización conjunta de varios de ellos debido al mayor poder predictor del nivel de hidratación que esa utilización conjunta determina respecto al uso individual de uno u otro parámetro (Sawka *et al.*, 2007). En esa línea, entre los más precisos cabe destacar la utilización

conjunta de parámetros de orina y el registro de cambios en el peso corporal, considerándose como un método de referencia a la hora de evaluar las alteraciones producidas en el balance hídrico del sujeto (Cheuvront, Haymes y Sawka, 2002; Mitchell, Nadel y Stolwijk, 1972). Por otra parte, estos métodos se encuentran entre los más prácticos de uso, particularmente en lo referente a economía de tiempo, coste y requerimientos técnicos específicos (Sawka *et al.*, 2007). En consecuencia, los resultados son fácilmente extrapolables a lo que pueda ocurrir en otras situaciones. Por este motivo, en este trabajo hemos estudiado los cambios en el peso corporal como método de referencia y parámetros de orina para la valoración del nivel de afectación del equilibrio hídrico al rehidratarse con cerveza o con agua. Sin embargo, hemos querido analizar de forma paralela lo que ocurre con una amplia cantidad de variables que puedan complementar y mejorar la interpretación de los cambios producidos. Para ello, hemos analizado diversos parámetros de composición corporal, diversas variables bioquímicas y hematológicas, así como concentraciones y volúmenes urinarios.

Medida del estado de hidratación

El nivel de hidratación es la resultante del equilibrio hídrico es decir la diferencia entre lo que se ingresa y lo que se gasta, siendo importante evaluar el estado de hidratación que presenta una persona tanto para conocer si se encuentra ante una situación de déficit hídrico como para saber si se han recuperado adecuadamente las pérdidas.

El estado de hidratación es el reflejo de la cantidad total de agua que contiene el organismo. El agua corporal total representa el 60% de la masa corporal, con un margen que oscila entre el 45 y el 75%. Aunque estas diferencias cabe atribuir las más a variaciones en la composición corporal que al propio contenido hídrico de los tejidos, que se mantiene bastante estable. Así, considerando un modelo bicompartimental de masa magra y masa grasa, la primera contiene un 70-80% de agua, mientras que la segunda contiene sólo un 10%. En consecuencia, un aumento de la cantidad de grasa del organismo determina que el porcentaje de agua corporal total respecto a la masa corporal también disminuya. Para una persona promedio de unos 70 kg, el agua corporal total estaría en torno a 40 litros, con un rango de 30 a 50, en función de su mayor o menor porcentaje de grasa. Los deportistas, que tienen mucha masa muscular y poca grasa, tienen una elevada cantidad de agua corporal total, y a la inversa.

Para un mismo sujeto en situación de euhidratación, la cantidad de agua corporal total oscila dentro de un estrecho margen de variación que rara vez supera el 0,5% de la masa corporal (Cheuvront, Carter, Montain, y Sawka, 2004). Variaciones superiores del peso corporal que se producen en un corto espacio de tiempo caben ser atribuidas a variaciones en el nivel de hidratación.

Idealmente, un buen indicador de hidratación debería ser lo suficientemente preciso y sensible como para detectar fluctuaciones específicas en la cantidad de agua corporal total. Dicho biomarcador debería ser, además, de utilidad en la práctica real, en cuanto a coste, tiempo de medida y/o necesidad de personal técnico para medirlo o interpretarlo (Sawka *et al.*, 2007).

Son varios los indicadores del estado de hidratación disponibles. Los métodos de dilución con medidas repetidas de la osmolaridad plasmática se encuentran entre los más precisos pero son complejos por lo que no resultan de utilidad práctica. Otros biomarcadores tales como la medida del volumen plasmático, la medida de hormonas implicadas en el metabolismo hidromineral y la medición de la impedancia bioeléctrica están sujetos a error y son difíciles de interpretar, por tanto, tampoco resultan de utilidad. Por el contrario, medidas tan sencillas como el peso corporal, usadas en el contexto apropiado y en conjunción con otros indicadores, se han revelado como perfectamente válidas y útiles.

Peso corporal como medida del estado de hidratación

La medida del peso corporal tras un razonable periodo de ayuno y tras vaciar la vejiga (en combinación con otros indicadores urinarios o hemáticos) tiene suficiente sensibilidad y especificidad para detectar desviaciones en el balance hídrico y conocer el estado de hidratación del sujeto. Una persona bien hidratada, en equilibrio metabólico, en condiciones basales y con la vejiga vacía debe presentar un peso corporal con una oscilación menor del 1%. Al menos, deberían tomarse tres medidas en tres días sucesivos lo que permitiría establecer para esa persona el nivel basal que representa euhidratación, asumiendo que se está comiendo y bebiendo a voluntad pero sin excesos y se controla el hábito intestinal. Para las mujeres, la situación es algo diferente dado que el ciclo menstrual influye el metabolismo hídrico. Así, durante la

fase lútea se puede incrementar el agua corporal y, por tanto, el peso corporal en más de 2 kg. En consecuencia, para la mujer se necesitan varias medidas en días diferentes del ciclo.

Los cambios agudos en el peso corporal se pueden utilizar para conocer las perturbaciones en el estado de hidratación que ocurren en distintas circunstancias y, entre ellas, calcular las tasas de sudoración. Para ello, se asume que 1 ml de sudor evaporado se traduce en la pérdida de 1 g de peso corporal. Las medidas de peso corporal antes y después de hacer ejercicio, una vez corregidas por las pérdidas urinarias y, en su caso, el volumen de líquido ingerido, son un magnífico índice del nivel de sudoración. Es conveniente que el pesaje se efectúe con el sujeto desnudo para así evitar el tener que corregir por el peso de la ropa y el sudor que haya podido quedar empapado en ella.

Otro factor que contribuye a la pérdida de peso durante el ejercicio es la pérdida de agua a nivel respiratorio y el recambio metabólico. Ignorar estos dos factores supone sobreestimar la tasa de producción de sudor en torno a un 10%. Así Mitchell *et al.*, afirman que otros factores que pueden contribuir a las pérdidas de peso durante el ejercicio son el agua perdida a través de la respiración y del intercambio de carbono (Mitchell, Nadel y Stolwicks, 1972), aunque estas pérdidas no se suelen considerar suficientemente importantes para ejercicios cuyas duraciones sean inferiores a 3 h (Cheuvront, Haymes y Sawka, 2002), como es el caso de nuestro estudio en el que tan solo se corre durante 1 h como máximo.

En consecuencia, si se dispone de los controles adecuados, los cambios de peso corporal proporcionan una estimación sensible y específica de los cambios agudos del agua corporal total que ocurren como consecuencia del ejercicio y el subsiguiente proceso de rehidratación.

Así, si lo que se pretende es conocer el efecto de una sesión de ejercicio o un programa de rehidratación, la estimación más directa de la pérdida sudoral es la que proviene de la variación experimentada en el peso corporal. Si durante ese tiempo se han producido efectos ligados a otros mecanismos de pérdida (orina, heces, vómito) o ganancia (ingesta de comida, bebida) hay que tomarlos en consideración. Lógicamente, es

conveniente hacer una medida previa a la exposición al calor/ejercicio, otra al finalizar el mismo y otra tras el periodo de rehidratación, como así hemos hecho.

En conjunción con el peso, los indicadores plasmáticos y urinarios pueden ayudar a discriminar el nivel de hidratación. Un índice de gravedad específica urinaria menor o igual de 1020 y una osmolalidad urinaria menor o igual a 700 mOsm/kg son indicativos de encontrarse bien hidratado. Aunque parece evidente que una consecuencia inmediata de la deshidratación por sudoración es un aumento de índices hematológicos (hemoconcentración), no suele ser el caso dado que el organismo intenta preservar el volumen plasmático sacando agua de las células y, entre ellas, los propios hematíes. Por el contrario, sí existe correlación entre el nivel de deshidratación y la pérdida de peso o la osmolaridad urinaria. Hay que indicar que tanto los parámetros analíticos como antropométricos o fisiológicos afectados por el ejercicio y la exposición al calor se mantienen alterados durante tiempo, incluso tras el proceso de rehidratación.

Los parámetros urinarios pueden proporcionar una información equívoca relativa al grado de hidratación cuando se obtienen en periodos de rehidratación. Así, si la persona deshidratada bebe grandes volúmenes de líquidos hipotónicos o agua, tendrá una orina abundante y con una gravedad específica y osmolalidad sugerentes de euhidratación que sin embargo se están produciendo antes de conseguir un nivel de hidratación adecuado. Lo mismo cabe decir de los parámetros hemáticos. Por otra parte, las tasas de producción de sudor pueden ser tan altas (hasta 1 litro por hora) que el volumen de agua o líquidos necesarios para remplazar este nivel de pérdida es tan alto que hace casi imposible su consumo, en particular porque la sensación subjetiva de sed disminuye y dificulta esa ingesta. Son necesarias varias horas para recuperarse completamente de una pérdida hídrica importante que ocurre como consecuencia de calor y ejercicio. Por tanto, para ser valorables es preciso tomar las muestras de sangre y orina después de permanecer varias horas en un estado de hidratación estable para así poder claramente diferenciar una situación de euhidratación y deshidratación.

Pérdida y recuperación del peso corporal

La pérdida de peso corporal media de nuestros sujetos tras el protocolo de carrera fue de un 2.4% , dicha disminución puede considerarse nociva para el rendimiento e incluso

para la salud de los sujetos lo cual se produce con deshidrataciones de más del 2% del peso corporal, tal y como lo manifiestan diversos autores (Cheuvront, Carter y Sawka, 2003; Sawka *et al.*, 2007; Sawka y Coyle, 1999). Estos valores de deshidratación coinciden con los niveles que según el Position statement: “Exercise and fluid replacement” hay que intentar evitar que se produzcan en la práctica deportiva utilizando una adecuada estrategia de hidratación (Sawka *et al.*, 2007).

Con pérdidas de peso por deshidratación tras ejercicio a estos niveles, es fundamental una abundante rehidratación cuya finalidad sea principalmente recuperar la mayor parte de lo perdido (Cheuvront, Carter y Sawka, 2003; Zaryski y Smith, 2005), tal y como ocurre en nuestro estudio donde tanto con cerveza como con agua se consigue en la misma medida, recuperando un peso medio corporal del 1,6%, quedando sin recuperar un 1%.

El peso ganado tras la rehidratación supone una diferencia sin recuperar, por lo que podemos sugerir que la rehidratación de forma voluntaria tras el ejercicio no llega a reponer completamente valores iniciales, esto coinciden con los autores que afirman que la estimulación de la sed durante el ejercicio no es suficiente para conseguir que el sujeto reponga la totalidad de las pérdidas hídricas (Zetou, Giatsis, Mountaki y Komninakidou, 2007) por lo que recomiendan, como pauta de rehidratación postejercicio ejercicio, ingerir aproximadamente 1,5 litros de bebida por cada kilogramo de peso perdido, pretendiendo así compensar también las pérdidas producidas por el incremento de orina tras la rápida ingestión de amplios volúmenes de líquidos (Sawka *et al.*, 2007; Shirreffs y Maughan, 1998).

Una posible hipótesis que justifica la no recuperación total sería la duración del periodo de rehidratación, siendo éste de dos horas, quizás no lo suficientemente prolongado para una completa recuperación, tal y como indican algunos autores que recomiendan una ingesta de líquidos de forma extendida en el tiempo para facilitar la máxima retención de fluidos (Kovacs, Schmall, Senden y Brouns, 2002; Wong, Williams, Simpson y Ogaki, 1998). En nuestro estudio hemos utilizado 2 h como periodo de recuperación del balance hídrico, mientras que en otros estudios aplican periodos de rehidratación mas largos, como es el caso de Shirreffs *et al.*, que utilizaron periodos de 4 h para ver la evolución de la rehidratación después de ejercicio en un ambiente caluroso comparando

4 tipos de bebidas diferentes (Shirreffs, Aragón-Vargas, Keil, Love y Phillips, 2007), e incluso han llegado a utilizar periodos de hasta 6 h (Shirreffs, Taylor, Leiper y Maughan, 1996). Sin embargo, la principal diferencia de estos estudios con respecto al nuestro es que, en nuestro caso, el objetivo era remedar lo mejor posible una situación de la vida real y, en este sentido, si a las dos horas el sujeto presentaba todavía una afectación significativa.

Evolución de la composición corporal

Dentro de la composición corporal podemos distinguir dos componentes fundamentales, la masa grasa del tejido adiposo y la masa magra, que engloba tanto la masa muscular como el resto de componentes del organismo. Es la masa magra la más susceptible de verse afectada por los cambios hídricos (ganancias o pérdidas) debido a su considerable contenido de agua. Es precisamente el agua, el componente mayoritario de la masa magra. En el presente estudio, la composición corporal, y con ella, la masa magra ha sido analizada por tres métodos diferentes: DEXA, Antropometría y Bioimpedancia multifrecuencia, siendo el primero de ellos el que constituye un sistema de referencia a nivel científico por su alta precisión.

Masa magra

La masa magra expresada en porcentaje no cambia significativamente tras el periodo de ejercicio cuando se mide mediante DEXA. Por el contrario, sí sufre, curiosamente, un ligero incremento al medirla por antropometría y bioimpedancia multifrecuencia. Estos resultados pueden parecer algo confusos pues, dado que al tratarse de porcentajes, consideran el peso absoluto de cada sujeto en el momento de la medición y ese peso disminuye con el ejercicio debido a las pérdidas sudorales de agua.

En consecuencia, es necesario estudiar dichas variables de composición corporal de forma absoluta. Cuando los valores de masa magra fueron analizados de forma absoluta, tanto con el método de referencia (DEXA) como mediante antropometría, se observaron disminuciones altamente significativas tras el periodo de carrera y consiguiente deshidratación, mostrando así que gran parte del peso perdido procedía del agua existente en la masa magra o masa muscular. La masa magra absoluta, medida por

bioimpedancia y estando ajustada por el peso, no muestra cambios significativos tras dicho periodo. Esto se explica porque la bioimpedancia se ve afectada en gran medida por el estado de hidratación del sujeto, pudiendo inducir sesgos en los resultados.

Tras el periodo de rehidratación, los porcentajes de masa magra medidos por cualquiera de los tres métodos (DEXA, antropometría y bioimpedancia multifrecuencia) no muestran cambios significativos. Sin embargo, de nuevo, cuando la masa magra se analiza en valor absoluto, se aprecia un incremento altamente significativo en las mediciones realizadas con DEXA y antropometría siendo ésta similar para ambos tipos de bebidas ingeridas. Este aumento tras la rehidratación no se aprecia con la bioimpedancia lo cual parece indicar que este método no fue tampoco lo suficientemente preciso ni para detectar los cambios producidos en sudoración (Berneis & Keller, 2000; Pialoux et al., 2004) ni los derivados de la posterior rehidratación.

Agua corporal

El método de bioimpedancia permite obtener una medida indirecta del contenido de agua y su distribución en el organismo, diferenciando agua corporal total y agua extracelular, y ello tanto en términos relativos (porcentaje) como absolutos. Así, con este método y de manera paradójica se aprecia un incremento en el porcentaje de agua corporal total tras el periodo de carrera, mientras que el porcentaje de agua extracelular permanece estable tras este periodo. Cuando estos dos porcentajes de agua son ajustados en función del peso, obteniendo valores absolutos de agua corporal expresados en kilogramos totales, ambas tendencias cambian. En el caso del agua corporal total (en kilogramos) no aparecen ya cambios significativos mientras que el agua extracelular total (en kilogramos) muestra un descenso significativo tras el ejercicio, corroborando los resultados anteriormente analizados relativos a la deshidratación producida. Por tanto, la medida de agua corporal con este método parece más acorde con la situación de los sujetos.

El agua corporal total y agua extracelular total no muestran cambios tras la rehidratación cuando éstas se expresan en porcentajes del peso. Cuando se expresan como cantidades absolutas (en kilogramos) el agua corporal total sigue sin mostrar cambios significativos, ni tampoco se aprecian diferencias cuando se ingiere sólo agua o

cuando se ingiere cerveza. La situación es diferente cuando se valora el contenido de agua extracelular en términos absolutos. En este caso el agua extracelular parece mostrar un incremento significativo en el caso de la rehidratación con cerveza cosa que no ocurre cuando la rehidratación se produce solo con agua. No obstante no se puede saber si esto es un efecto propio del contenido hídrico o es un artefacto ocasionado por el alcohol sobre la medida de la biopimpedancia eléctrica, el cual sabemos que la influye.

En cualquier caso sí que se puede reforzar la afirmación de que las pérdidas y ganancias producidas en el peso corporal durante el estudio se debieron principalmente a cambios del nivel hídrico de los distintos componentes. Y también que la ingesta de cerveza en las cantidades indicadas no menoscaba el proceso de rehidratación determinando, cuando menos, igual capacidad de repleción hídrica del compartimento extracelular.

Por último hay que indicar que la mayoría de las variables no recuperaron, tras la rehidratación, los valores previos al ejercicio por lo que este periodo de rehidratación es insuficiente, lo cual contrasta con la sensación subjetiva de los sujetos que referían encontrarse perfectamente hidratados y sin sensación de sed.

Masa grasa

La masa grasa medida mediante DEXA, y expresada tanto en porcentaje como en valores absolutos, no varió significativamente tras el periodo de ejercicio. Esto demuestra que los cambios en el peso corporal se deben a cambios en el componente hídrico.

Por el contrario, cuando la medida se realiza mediante antropometría o impedancia, se aprecia un descenso significativo de la masa grasa tanto en términos relativos como en términos absolutos, la cual de forma paradójica se recupera durante la rehidratación. Esto excluye que dicha pérdida pueda ser atribuida a la utilización de grasa al realizar ejercicio aeróbico. Resulta difícil explicar la falta de concordancia respecto a los resultados obtenidos con DEXA. En cualquier caso, el consumo de cerveza con respecto al agua no tiene ningún efecto sobre la evolución de la cantidad de masa grasa tras rehidratación.

Efectos sobre sensación de sed y balance hídrico

Sensación de sed y calidad de la percepción subjetiva

Como es lógico, tras el periodo de ejercicio y la importante pérdida hídrica que ocasiona, se desencadena una importante sensación de sed. La puntuación alcanzada en la escala de sed coincide con los niveles de deshidratación encontrados por otros autores (Engell *et al.*, 1987; Greenleaf, 1992; Maresh *et al.*, 2004). Esa sensación de sed es proporcional a las pérdidas hídricas. Así, Engell *et al.* han mostrado una fuerte y directa relación entre la intensidad de la sed percibida y el grado de deshidratación tras ejercicio realizado en ambientes calurosos (Engell *et al.*, 1987). Es precisamente esa sensación de sed la que lleva a beber líquido para reponer esas pérdidas hídricas. La sensación subjetiva de sed fue similar al finalizar ambas pruebas y, por tanto la predisposición a beber cerveza o agua debía ser virtualmente idéntica. La temperatura de una u otra bebida era también igual dado que se almacenaban en el mismo frigorífico.

Una vez que los sujetos empezaron a beber, todos ellos declararon que tanto la cerveza como el agua les calmaba la sed sin que se objetivara diferencia entre una y otra bebida, lo cual por otra parte era de esperar ya que la ingesta en ambos casos era *ad libitum*. No obstante, todos los sujetos, excepto uno, declararon preferir la cerveza al agua en esas circunstancias y ello por sus preferencias personales y las características organolépticas de la bebida. En cualquier caso, la recuperación percibida fue similar en ambos casos y siempre bastante rápida, encontrándose los sujetos subjetivamente bien aunque afectados y cansados por el esfuerzo. En ningún caso se apreciaron indicios de desfallecimiento, mareo o comportamiento anómalo ni durante el esfuerzo, la rehidratación o las demandantes pruebas a las que los sujetos se veían sometidos. Es preciso repetir aquí que todos los sujetos practicaban ejercicio de manera regular y tras lo cual habitualmente ingerían cerveza incluso en mayor cantidad que la que aquí se les suministraba, con la única diferencia de que la solían tomar con una pequeña cantidad de alimento, las habituales tapas de nuestro medio.

Balance hídrico

Para conocer la efectividad de la cerveza como bebida rehidratante, es importante estudiar el balance hídrico al final del proceso de rehidratación. El balance hídrico es la diferencia o balance entre las ingestas de líquido y las pérdidas por orina. En el presente estudio pretendíamos analizar, por un lado, el efecto concreto de utilizar una cantidad moderada de cerveza con alcohol en el periodo de rehidratación, así como valorar su influencia en la saciedad y nivel de líquido ingerido, pudiendo ocurrir que, con la ingesta de cerveza y por el efecto del alcohol, la sensación de sed fuera atenuada y la ingesta hídrica menor. Nuestros resultados muestran que no se produjeron niveles diferentes de ingesta de líquido o de rehidratación, siendo similar el efecto de líquido ingerido cuando éste era solo agua ad libitum o cuando la ingesta era de 660 ml de cerveza con alcohol y posteriormente agua ad libitum. Tanto en uno como en otro caso la cantidad total de líquido ingerido está en torno a 1,6 litros, aunque existen importantes diferencias entre sujetos como lo pone de manifiesto la elevada desviación estándar que está en unos 0,6 litros en ambos casos. Los resultados muestran también que, a pesar de no ingerirse voluntariamente las cantidades recomendadas (Sawka et al., 2007), los sujetos basándose en sus sensaciones de sed y necesidad de reponerse ajustaban bastante bien, y de manera similar en ambas situaciones, la cantidad de líquido ingerido independientemente del tipo de bebida utilizada. Así, la ingesta total de líquido ingerido cuando solo se consume agua supone un 91% del peso perdido, lo que sube a un 95% en caso de que también se ingiera cerveza, si bien no hay diferencias entre ambos casos. Por tanto, en ambos casos, la sensación de sed hace beber cantidades casi equivalentes al 100% del peso perdido aunque, como se ha referido más arriba, esta cantidad es todavía insuficiente. Otro dato de interés a considerar es que, pese a tener libertad para dosificar la ingesta durante las dos horas de rehidratación, la mayoría de los sujetos realizaron la totalidad de ingesta líquida entre los 20 y 45 primeros minutos que siguieron a la realización de ejercicio.

El otro componente del balance a considerar y que, en sí mismo, es un parámetro importante a considerar cuando se pretende estudiar el efecto de una bebida que contiene alcohol, es la producción de orina tras su ingesta. Es bien sabido, que el alcohol, en general, tiene un efecto diurético debido a la inhibición de la hormona

antidiurética (ADH), originando un incremento en la producción de orina al poco tiempo de su ingesta (Hall y Guyton, 2001). No hay muchos estudios dirigidos al análisis del efecto del alcohol en el deporte (O'Brien y Lyons, 2000; Shirreffs y Maughan, 1997, 2006) y menos aún el efecto específico de la cerveza como bebida rehidratante. Nuestro estudio, se centra en el posible efecto de una ingesta moderada de cerveza con alcohol, puesto que se sabe que estas ingestas están dentro de los parámetros considerados saludables (Romeo, 2006) y, sobre todo, porque existe un gran colectivo que tras la realización de ejercicio físico considera este tipo de bebida como la que mejor se adapta a sus necesidades y apetencias. Shirreffs *et al.*, afirman que la elección de la bebida para rehidratarse se ve afectada por las preferencias culturales (Shirreffs, Aragón-Vargas, Keil, Love y Phillips, 2007), sobre todo en la población que practica deporte sin dedicarse al alto rendimiento.

En nuestro estudio, llama la atención el bajo volumen de orina producido tras las dos horas de rehidratación y que es inferior a los 300 ml, no observándose que la cerveza ocasione un efecto diurético adicional. La producción de orina en el tiempo, tras una rehidratación, puede variar en función de diversos aspectos como son la velocidad o ratio de ingesta, o el tipo de bebida. Así, una ratio elevada de ingesta de líquidos puede originar un incremento en el volumen plasmático que en poco tiempo dará lugar a la estimulación de la producción de orina antes que con una ratio de ingesta baja (Kovacs, Schmall, Senden y Brouns, 2002). En cualquier caso, llama la atención la escasa orina tras la rehidratación comparada con las obtenidas por otros estudios de rehidratación (Shirreffs y Maughan, 1997; Shirreffs, Taylor, Leiper y Maughan, 1996).

Cuando se estima el balance hídrico, es decir la diferencia entre lo ingerido y eliminado, restamos a dicha ingesta de líquidos final los volúmenes de orina excretados durante ese periodo y vemos que el balance es claramente positivo, en torno al 80% (79% en caso de ingesta de agua y 78% con la ingesta de cerveza más agua). Se puede afirmar, pues, que una ingesta moderada de cerveza con alcohol más agua *ad libitum* permite recuperar los niveles hídricos iniciales al igual que lo consigue la ingesta de agua sola. Otros estudios, utilizando otras bebidas y pautas de ingesta, también han encontrado niveles de rehidratación incompletos tras ingerir cantidades $\geq 100\%$ de las pérdidas de

peso producidas (González-Alonso, Heaps y Coyle, 1992; Nielsen, Sjogaard, Ugelvig, Knudsen y Dohlmann, 1986; Shirreffs, Taylor, Leiper y Maughan, 1986).

Un aspecto fundamental a considerar de estos resultados, es el hecho de que la cantidad de alcohol consumida no afectó el balance hídrico. Esto quizás pueda explicarse a través del efecto combinado que tienen el ejercicio y la deshidratación que prima sobre el efecto diurético de la cerveza. Así, el ejercicio activa la acción de la hormona antidiurética para garantizar la disponibilidad hídrica del sujeto y el correcto aporte de flujo a las células. Al mismo tiempo, la deshidratación provocada por dicho ejercicio en un ambiente caluroso origina un aumento de los niveles de ADH plasmática como consecuencia de la disminución de la volemia. Ambos mecanismos actuando de forma conjunta podrían contrarrestar el efecto inhibitor de una dosis de alcohol moderada que, además se ingiere especialmente diluída debido al volumen extra de agua.

Por otro lado, si calculamos la ingesta total de alcohol contenida en 660 ml de cerveza que ingirieron los sujetos, vemos que en total suponen unos 30 g aproximadamente, cantidad que es equiparable a la capacidad de metabolización de la alcohol-deshidrogenasa en individuos sanos y habituados a un consumo moderado, tal y como ocurrió en nuestro estudio. A simple vista, estos resultados contradicen los encontrados por otro estudio que investigó el efecto del consumo de alcohol en diferentes concentraciones sobre la respuesta hídrica de un estado de deshidratación provocado por ejercicio en un ambiente caluroso. En dicho estudio se encontró que concentraciones alcohólicas de entre 0% y 2% no provocaban alteraciones en la recuperación hídrica, no siendo así en concentraciones $\geq 4\%$ (Shirreffs y Maughan, 1997). Sin embargo, pese a las diferencias metodológicas entre ambos estudios y aunque la concentración de alcohol en la cerveza empleada en nuestro estudio fue de un 4,5% de alcohol aproximadamente, cabe destacar que la concentración digestiva real de éste sería mucho menor. Es decir, asumiendo las afirmaciones de algunos autores que manifiestan un proceso de vaciado gástrico de líquidos tras el ejercicio de alta intensidad más enlentecido (Leiper, Broad y Maughan, 2001) y, por otro lado, considerando que la ingesta media final en el caso de la cerveza más agua fue de 1,6 litros en un periodo medio de tiempo que osciló entre los 20 y 45 primeros minutos, podemos sugerir que casi la totalidad del líquido coincidió en el estómago por lo que la concentración de

alcohol real estaría en torno al 2% tal y como indicaba el estudio de Shirreffs y Maughan (1997), mencionado con anterioridad.

Excreción urinaria de solutos

Parámetros que, junto con el peso corporal, aportan más información sobre el nivel de hidratación son los relativos a la orina, y no sólo en su volumen sino también en su composición y en la tasa de eliminación de diversas sustancias. Una de las más significativas es la osmolaridad total de la misma. Ni en términos de concentración, ni en término de osmoles excretados, se ha encontrado ningún efecto negativo de la cerveza. De hecho, la osmolaridad de la orina para ambas bebidas mostró unos valores inferiores a los establecidos por otros autores (Sawka *et al.*, 2007) como punto de corte de deshidratación (< 700 mOsmol). Esto indica que los sujetos se encontraban bien hidratados tras el citado periodo de 2 horas.

El resto de los parámetros medidos en la composición de la orina, tanto en concentraciones como en valores de excreción absolutos, se encuentran dentro de los rangos normales sin diferencias específicas determinadas por la cerveza. Hay que mencionar la elevada tasa de excreción de potasio en términos relativos al sodio. Esto se explica por el efecto de la aldosterona y se corresponde con los bajos niveles de potasio sérico que presentan los sujetos tras rehidratación. En este sentido la ingesta de una bebida rica en potasio, como es la cerveza, tiene particular importancia. Aunque posiblemente el efectos, sobre los niveles circulantes haya que buscarlo a más largo plazo.

Parámetros hemáticos indicativos de hidratación

Para poder entender con mayor precisión los cambios producidos en los sujetos tras la carrera y subsiguiente rehidratación con agua o cerveza, se analizaron diversos parámetros a nivel sanguíneo. Esto incluía parámetros hematológicos de serie roja (hematíes, hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio), a partir de los cuales se puede estimar de forma relativa los cambios en el volumen plasmático. También incluía una serie de parámetros presentes en el plasma y que se sabe son susceptibles de verse alterados por el ejercicio, la deshidratación (y consiguiente

hemoconcentración) y la posterior rehidratación. El estudio de todos ellos permite una más correcta interpretación de los resultados.

Parámetros hematológicos

La carrera a la que se sometió a los sujetos provocó un ligero efecto sobre los hematíes, la hemoglobina y el hematocrito, incrementando sus valores. Estos resultados junto con el descenso en el volumen plasmático van en la línea del desequilibrio hídrico que ocasiona la deshidratación. Los citados cambios en el volumen plasmático, calculados según la fórmula de Dill y Costill (Dill & Costill, 1974), mostraron que éste decreció unos 5 ml/100 ml respecto al nivel pre-ejercicio, recuperándose con posterioridad en unos 3 ml/100 ml. No se observaron diferencias significativas en lo que respecta al ejercicio entre los dos días de evaluación, ni tampoco por el efecto de la ingesta de cerveza. Estos cambios en el volumen plasmático encontrados en nuestro estudio, para una deshidratación media del 2.4% del peso corporal, coinciden con los encontrados por otros autores tras provocar una deshidratación con ejercicio en un ambiente caluroso. Así, Kovacs y cols. Encontraron un descenso del volumen plasmático del 7% como consecuencia de una deshidratación del 3% del peso corporal producida por el ejercicio (Kovacs, Schmahl, Senden, & Brouns, 2002). Disminuciones del volumen plasmático a estos niveles favorecen el descenso de la producción de orina post-ejercicio como consecuencia de la activación de la hormona antidiurética (ADH), que aumenta la absorción/retención de agua, tal y como tiene lugar en nuestro estudio con 45 ± 31 ml de excreción urinaria media tras el ejercicio.

Nuestros resultados relativos a volumen plasmático parecen tener cierta precisión para detectar los cambios producidos por la deshidratación al contrario de lo que otros autores afirman (Sawka et al., 2007). Sin embargo, hay que observar que las importantes desviaciones típicas observadas en nuestros resultados pueden deberse precisamente a la posible falta de sensibilidad y de precisión de esta variable particularmente en algunos sujetos y ello en función de sus características personales. El volumen corpuscular medio disminuye significativamente tras la realización de ejercicio físico lo que pone de manifiesto una importante deshidratación a nivel de los hematíes que sin duda es reflejo de lo que ocurre en otras células, entre ellas la masa muscular, lo

cual concuerda con nuestros resultados relativos a masa magra. En sentido opuesto varían las cantidades de hierro y bilirrubina en sangre que se incrementan significativamente tras la realización del ejercicio. Lo cual va en la misma línea de lo anterior y además sugiere la posible existencia de una cierta hemólisis que, a su vez, contribuye a que el número de hematíes no aumente.

Una vez que finaliza la rehidratación con los distintos tipos de bebidas cabe destacar el descenso producido en los valores de hematíes, hemoglobina y hematocrito aunque sólo mostrando significación estadística la hemoglobina. Viéndose estos acompañados de un importante incremento en el volumen plasmático en torno al 3%. Dicho incremento del plasma se corresponde en gran medida con el peso recuperado por los sujetos del estudio. Sin embargo, pese a que tras las dos horas de recuperación el volumen plasmático parece estar repuesto, parte del peso inicial permanece sin estarlo, esto posiblemente sea debido a que no todo el peso perdido procede del volumen plasmático sino también del espacio intracelular e intersticial. Esta hipótesis es apoyada por diversos autores que afirman que tras una deshidratación inducida por ejercicio en ambiente caluroso, el volumen plasmático es repuesto con prioridad a los fluidos intracelulares e intersticiales (Nose, Mack, Shi, & Nadel, 1988a, , 1988b; Stachenfeld, Gleim, Zabetakis, & Nicholas, 1996). Kovacs y cols. Encontraron que el volumen plasmático recupera sus niveles iniciales en los primeros 30 minutos de rehidratación (Kovacs, Schmahl, Senden, & Brouns, 2002), pudiendo nosotros afirmar que en nuestro estudio, tras las 2 horas de rehidratación, los valores eran semejantes a los iniciales, aunque hubiera sido interesante realizar algunas mediciones adicionales durante el periodo precoz de recuperación para observar la evolución. No obstante, cabe destacar que se alcanzaron dichos niveles plasmáticos de recuperación de manera similar con agua y con cerveza, no existiendo diferencias significativas entre ambos.

El volumen corpuscular medio no sufre cambios significativos tras la rehidratación, mientras que el hierro muestra un ligero descenso de sus valores pero sin alcanzar significación estadística. Finalmente, la bilirrubina tras la rehidratación permanece aumentada significativamente con respecto al punto inicial en el caso de la ingesta de agua sola, no siendo así en el caso de la ingesta de cerveza donde tiende a normalizarse

de manera más efectiva, apareciendo incluso diferencias significativas a favor del mejor efecto de la cerveza.

Parámetros plasmáticos

Los niveles plasmáticos de sodio y potasio no aumentan tras el ejercicio, lo que pone de manifiesto su correcta regulación con el adecuado trasvase entre espacios, a lo que se suma las pérdidas por el propio sudor que han podido ser importantes dado que, aunque son sujetos con buena condición física no se encontraban aclimatados al calor. En este sentido, es preciso indicar que el estudio se realizó al final de los meses de invierno y entrada de la primavera. Tras el periodo de rehidratación los valores de sodio siguen sin modificarse lo que pone de manifiesto la efectividad de los mecanismos fisiológicos de ahorro de sodio, en particular la aldosterona. Por el contrario, sí que se aprecia un significativo descenso en los niveles de potasio que se puede explicar por la conjunción de varios mecanismos. Por un lado, la importancia relativa de su pérdida sudoral; por otro, la repleción de volumen plasmático y la consiguiente hemodilución; por otro, su trasvase al medio intracelular, de donde había salido previamente; y por último, su excreción a distintos niveles mediada por el efecto de la aldosterona. En este sentido, es de señalar el interés que tiene la ingesta de una bebida con alto contenido en potasio como es la cerveza, si bien en nuestros resultados no se aprecian diferencias significativas entre ambos tipos de rehidratación. Sería deseable extender la duración del estudio de recuperación para ver si estas diferencias se ponen de manifiesto con posterioridad.

Los incrementos producidos, altamente significativos, en los niveles plasmáticos de urea, creatinina y albúmina vienen a confirmar la importancia de la deshidratación alcanzada. Tras el periodo de rehidratación disminuyen significativamente las concentraciones de urea y creatinina. Para el descenso de la primera se aprecia que la cerveza es más efectiva aunque, bajo el punto de vista estadístico, cabe hablar sólo de una clara tendencia, normalizándose en el caso de la cerveza y permaneciendo elevada en el caso del agua. Esto puede en parte explicarse por el mayor efecto de aclaración renal determinado por la cerveza si bien, como se verá con posterioridad, esto no llega a comprobarse con los parámetros urinarios. La creatinina sigue un comportamiento

similar aunque con diferencias más atenuadas. La concentración de albúmina, aunque disminuye algo tras la rehidratación, sigue permaneciendo elevada con respecto a los valores pre-ejercicio y ello de manera similar tanto en la rehidratación con agua y rehidratación con cerveza. Estos resultados se corresponden perfectamente con la falta de recuperación absoluta de toda el agua perdida y que ya había sido puesta de manifiesto por las variaciones de peso corporal y masa magra.

Cambios endocrino-metabólico durante el ejercicio físico

El ejercicio físico intenso y prolongado genera una sobrecarga funcional y un desequilibrio metabólico que debe ser compensado por nuestro organismo. Esta situación se ve acrecentada si el ejercicio se realiza en condiciones ambientales adversas como pueden ser una elevada temperatura ambiental. Son varias las hormonas que juegan un papel de relevancia en dicha compensación. De hecho, el ejercicio constituye una situación estresante que, como tal, induce una respuesta adaptativa tanto de tipo agudo (para hacer frente a la sobrecarga de manera instantánea) como de tipo crónico (para hacer frente a esa sobrecarga en un periodo prolongado en el tiempo). En otras palabras, es preciso hacer frente a la sobrecarga en sí (la sesión de ejercicio) y a sus consecuencias posteriores (las derivadas del desgaste que ha ocasionado). Se puede hablar entonces de una respuesta adaptativa de tipo agudo (minutos) y de una respuesta adaptativa más prolongada en el tiempo (horas o incluso días). Y cada una de ellas tiene sus propios mediadores endocrino-metabólicos. Por otra parte, el estrés y la sobrecarga que supone el ejercicio pueden ser de tal intensidad, que sobrepase la capacidad de adaptación del propio organismo. Más deseable es que no la sobrepase, en cuyo caso se puede decir que ha sido el organismo el que ha podido con el estrés y se ha sobrepuesto a la sobrecarga. Por explicarlo de una forma gráfica, un individuo que corre una misma maratón en dos ocasiones idénticas. En una de ellas, consigue finalizar la prueba; en la otra, cae desfallecido antes de finalizarla. En ambos casos, el ejercicio (la sobrecarga) han sido similares pero en el primero la capacidad de adaptación del sujeto puede con la sobrecarga, mientras que, en el segundo, no puede. En ello influyen numerosos factores de índole fisiológica, psicológica, sociológica y ambiental. La respuesta hormonal es diferente. En el primer caso predomina la secreción de hormonas anabólicas (hormona de crecimiento, testosterona y, con la llegada de alimento, insulina). En el segundo

predomina la activación del eje hipotálamo-hipófisis-corteza suprarrenal, con liberación de ACTH, cortisol y aldosterona. En el primer caso hay una respuesta anabólica que determinará una pronta y eficaz recuperación, en el segundo caso se produce una respuesta catabólica que retrasará dicho proceso.

El nivel de sobrecarga que determine el ejercicio, la deshidratación y la forma en que se repongan esas pérdidas (i. e. rehidratación), condicionará fuertemente a diversas hormonas como la testosterona, el cortisol y el cociente testosterona/cortisol, influenciando de esa forma el balance entre anabolismo y catabolismo (Maresh *et al.*, 2006). El alcohol puede ser un factor de influencia cuyo efecto sería interesante conocer.

El ejercicio, al reducir las concentraciones de glucosa en sangre, actúa como un inhibidor de los niveles de insulina. Con posterioridad, durante la fase de recuperación, la concentración de insulina debe ir volviendo a sus niveles normales. De hecho, la insulina permite la incorporación de los agentes de recuperación desde la sangre hasta la fibra muscular y la ingestión de una pequeña cantidad de carbohidratos favorece este efecto. De nuevo, el alcohol puede influir negativamente sobre este proceso, lo cual sería interesante de dilucidar.

Parámetros hormonales

La respuesta del sistema endocrino ante un ejercicio que supone un gasto energético y un estrés importante nos puede mostrar cómo responde el organismo ante dicho ejercicio y cómo se recupera tras la rehidratación con distintos tipos de bebidas.

La concentración de glucosa en sangre durante el ejercicio depende del equilibrio entre el consumo de glucosa por los músculos y su liberación por el hígado. En principio, la concentración plasmática de glucosa debería descender en respuesta al ejercicio pero también hay que tomar en consideración la respuesta de las hormonas de estrés y la propia hemoconcentración que se produce como resultado de la deshidratación. Existen cuatro hormonas principales responsables de los niveles de glucosa en sangre en respuesta al ejercicio y al estrés: glucagón, adrenalina, cortisol y hormona de crecimiento, a lo que hay que sumar el descenso de la insulina. Nuestros datos muestran

justamente que la glucosa medida unos minutos después de la finalización del ejercicio se encuentra aumentada en una ocasión ($p < 0,01$) y relativamente constante en otra. En ambas pruebas se produjeron descensos en los niveles de insulina que no llegaron a ser estadísticamente significativos debida a la amplia variabilidad interindividual. Las oscilaciones de la glucemia se corresponden con las descritas como normales por otros autores durante y tras el ejercicio (Wilmore y Costill, 2004) y la evolución de la insulina tras el ejercicio en los sujetos de nuestro estudio también está de acuerdo a los supuestos de la fisiología del ejercicio para esta hormona (Wilmore y Costill, 2004).

Tras el periodo de rehidratación, los valores de glucosa en nuestra investigación disminuyen considerablemente llegando a estar ligeramente por debajo de los valores iniciales ($p < 0,01$). Dicha disminución responde a la propia utilización del sustrato para reponer las reservas agotadas en el ejercicio pero también puede ser debido al propio proceso de rehidratación que origina una expansión inicial del plasma sanguíneo y, por consiguiente, una hemodilación con descensos en la concentración de glucosa. Dichos efectos se producen de forma similar al ingerir un tipo de bebida u otro. En cualquier caso, el alcohol contenido en la cerveza no origina ningún tipo de hipoglucemia.

Una vez transcurrido el periodo de rehidratación, los niveles de insulina continúan disminuidos por debajo de los niveles iniciales y ello de forma similar tanto en la ingesta de agua como en la ingesta de cerveza y agua, lo cual nos hace pensar en una doble causa. Por un lado, puede deberse a que pasado este periodo de dos horas de recuperación los efectos del ejercicio aún mantienen disminuidos los niveles de la misma, mientras que por otro lado la citada rehidratación y el incremento del volumen plásmatico generado por ésta pueden mantener la hormona más diluida. Hubiera sido interesante una segunda medición transcurrido algún tiempo para comprobar que, con la redistribución del exceso de volumen plásmatico entre todos los compartimentos corporales, se recuperaban los valores normales de la insulina.

Tanto la glucosa como la insulina son sustancias que tienen grandes oscilaciones entre los distintos sujetos y además interaccionan recíprocamente: la glucosa controla la secreción de insulina y la insulina controla los niveles de glucemia. En consecuencia, más interesante que estudiar sus niveles por separado es considerar la ratio glucosa/insulina. Esta ratio ya muestra un comportamiento perfectamente coherente con

lo que cabía esperar neutralizando las diferencias interindividuales. Así, tras el ejercicio la ratio aumenta, lo que se debe al descenso de la insulina manteniéndose estables los niveles de glucemia. Esta situación persiste tras el periodo de rehidratación, lo que pone de manifiesto la adecuación de los mecanismos homeostáticos de la glucemia, a pesar de las diferencias inter-individuales. Tras la rehidratación, la ratio baja por la mayor producción de glucosa y menor consumo que, ligado al descenso de los niveles de insulina, evita una bajada de glucemia. El alcohol contenido en la cerveza no tiene en este sentido ningún efecto y, por tanto, su ingesta en cantidad moderada durante el periodo de recuperación puede considerarse, según nuestros datos, segura.

Otras dos hormonas de estrés, Cortisol y HGH, aumentan sus niveles considerablemente tras el ejercicio intenso en ambientes calurosos, lo que pone de manifiesto el importante estrés que ha supuesto para los sujetos, coincidiendo con la evolución descrita por otros autores (Brenner, Zamecnik, Shek y Shephard, 1997; Hoffman *et al.*, 1994; Maresh *et al.*, 2006; Wilmore y Costill, 2004). Ambas hormonas se producen en respuesta al estrés pero existen distintos tipos de estrés que ocasionan diferentes respuestas. En este sentido Brenner *et al.* encontraron que la hormona de crecimiento respondió con valores incrementados ante un estrés provocado por un ambiente caluroso pero también ante un estrés provocado sólo por el ejercicio. En contraposición, el cortisol tan sólo mostró incrementos cuando el estrés era provocado por el ejercicio en un ambiente caluroso (Brenner, Zamecnik, Shek y Shephard, 1997). Esto coincide con los resultados de nuestro estudio, pudiendo inferir que, en nuestro caso, se produjo un estrés en el organismo tanto por el calor como por el ejercicio. Otros autores afirman que la realización de ejercicio en ambientes calurosos pero a baja intensidad no repercute en un incremento de ciertas hormonas de estrés como el cortisol o la adrenalina (Hoffman *et al.*, 1994). Por tanto, podemos deducir que el estrés originado tras el periodo de ejercicio de nuestro estudio, se debió al efecto conjunto de la intensidad del ejercicio en sí, combinado con el calor (Brenner, Zamecnik, Shek y Shephard, 1997; Hoffman *et al.*, 1994) y con la subsecuente deshidratación producida (Maresh *et al.*, 2006).

Los incrementos en las citadas hormonas de estrés están condicionados, en parte, por el incremento de la intensidad del ejercicio y la demanda de glucosa generada, causando un incremento del cortisol que a su vez origina un aumento de la gluconeogénesis en el

hígado. Por otra parte, el aumento de hormona de crecimiento moviliza los ácidos grasos libres y reduce el consumo celular de glucosa (Wilmore y Costill, 2004). Esta situación hormonal se revierte con el reposo y la recuperación. De hecho, nuestros resultados muestran que ambas hormonas disminuyen durante el periodo de rehidratación incluso llegando a alcanzar valores inferiores a los iniciales en el caso del cortisol. Este descenso se encontró en la rehidratación con cerveza en la misma medida con la que se producía tras la ingesta de agua, por tanto tampoco en este tipo de respuesta adaptativa el alcohol interfiere negativamente.

Efectos sobre parámetros de daño muscular e inflamación

Parámetros de daño muscular

Hemos visto que el periodo de carrera supuso un esfuerzo de intensidad elevada manifestada por distintos indicadores subjetivos, hematológicos y endocrinos. A continuación analizaremos los efectos del periodo de carrera y la posterior rehidratación, sobre los parámetros de daño muscular o inflamatorio.

Es sabido que el enzima Láctico Deshidrogenasa (LDH) es un indicador general de lesión tisular aguda. De hecho, transcurrido el periodo de ejercicio de carrera, los valores de LDH se incrementan significativamente aunque de manera moderada en términos cuantitativos. Tras el periodo de rehidratación, los niveles de LDH se mantienen ligeramente elevados con respecto a la basal pero no continúan aumentados con respecto al final del ejercicio. Tampoco aquí el consumo de cerveza determinó ningún efecto negativo, incluso esta bebida tendía a disminuir los niveles de LDH más que el agua.

Otro parámetro indicativo de lisis muscular es la creatin-fosfoquinasa (CPK). Tras la carrera se produjeron aumentos significativos en sus niveles que después descendieron tras la rehidratación, y también sin que la cerveza tenga influencia en este proceso.

Una consecuencia bien conocida de la práctica de actividad física o deportiva en ambiente caluroso es la aparición de calambres musculares que se asocian a la deshidratación, déficit de electrolitos y/o fatiga muscular, siendo particularmente frecuente en sujetos poco aclimatados al calor, aunque también son frecuentes en la

práctica de deportes de invierno. Se ha comprobado que las personas susceptibles a padecer calambres musculares también suelen sudar de manera profusa presentando importantes pérdidas electrolíticas (Bergeron, 2003), si bien no se han podido claramente constatar estas diferencias en los niveles plasmáticos de electrolitos (Sulzer, Schweltnus y Noakes, 2005). En este sentido, particular relevancia tiene el descenso de los niveles de potasio que rápidamente se reflejan en una mayor susceptibilidad a la despolarización celular y consiguiente hiperexcitabilidad.

Como consecuencia de la realización de ejercicios para los que no se está habituado y de gran intensidad se produce rotura de las fibras musculares con liberación de su contenido al medio extracelular. La deshidratación agrava sus consecuencias. Una de las más graves es la insuficiencia renal aguda que se produce por la acumulación de mioglobina (proteína intramuscular) en los glomérulos renales. El calor puede suponer un problema adicional que agrava el proceso. El aumento de los niveles circulantes de enzimas intramusculares, como la CPK o la LDH, son indicativas del grado de rotura o lisis muscular que se está produciendo.

Parámetros de inflamación

Con respecto a la secreción salival de inmunoglobulina A, se ha descrito que las secreciones de saliva y mucosa participan de una manera importante en la primera línea de defensa contra patógenos externos. Por una parte se ha descrito que, mientras que después de un ejercicio intensivo o prolongado los valores de IgA salival disminuyen substancialmente, un ejercicio moderado no va a influir sobre estos valores (Shephard y Shek, 1998). Con todo ello, el descenso en las concentraciones de IgA salival se ha relacionado como un posible factor implicado en el aumento de la susceptibilidad a sufrir infecciones en los atletas (Gleeson *et al.*, 1999; Nieman, Nehlsen-Cannarella, 1991; Shephard y Shek, 1998). Los resultados del presente estudio revelan un aumento importante en los niveles de IgA después del ejercicio físico.

Dadas las condiciones del estudio, pensamos que dicho aumento está más relacionado con una adaptación fisiológica propia de la deshidratación producida tras la prueba física, que por una adaptación del sistema inmune en un período de tiempo relativamente corto (60 minutos). Además, debido a los niveles elevados de IgA salival

tras el ejercicio, se puede sugerir que la susceptibilidad a sufrir infecciones de los sujetos participantes no fue mayor tras la prueba de ejercicio realizada. En cualquier caso, podemos observar cómo los valores de IgA se estabilizaron en la misma medida al rehidratarse con cerveza o agua, aproximándose a los valores basales.

La homocisteína es un metabolito cuyo metabolismo está unido al de vitaminas del grupo B, principalmente ácido fólico y vitaminas B6 y B12. Está bien descrito en la literatura que niveles elevados de homocisteína se asocian con un mayor riesgo de enfermedad coronaria y ateromatosa. En el presente estudio, los niveles de homocisteína tendieron a elevarse tras el ejercicio físico, aunque no llegó a alcanzar cambios significativos. Cabe destacar que, tras la fase de rehidratación con ambas bebidas, los niveles continuaron incrementando aunque también sin llegar a alcanzar valores que algunos autores denominan un estado de hiperhomocisteinemia y que se sitúan en valores superiores a 15mmol/l (Sorberón *et al.*, 2004). Este incremento continuado (aunque no significativo), posiblemente se deba al efecto aún latente de la intensidad del ejercicio realizado. Se ha descrito en la literatura, que la intervención nutricional con B6 podría ayudar a disminuir los niveles de homocisteína en sangre (VV.AA., 2000). Por ello, pensamos que hubiera sido interesante volver a determinar los niveles de homocisteína, pasadas varias horas tras la rehidratación, para comprobar si la importante cantidad de vitaminas del grupo B, contenidas en la cerveza, pudieran mejorar la recuperación de los niveles de esta proteína. En cualquier caso, no se observaron diferencias significativas en los niveles de homocisteína después del período de rehidratación con ambos tipos de bebidas.

La proteína C-reactiva (PCR) es una proteína sintetizada por el hígado que aumenta sus niveles en episodios de estrés e inflamación aguda. Por una parte, la evidencia indica que el ejercicio moderado regular reduce los niveles de marcadores de inflamación (Saito *et al.*, 2003). No obstante, el ejercicio físico en condiciones de elevada temperatura supone un estrés fisiológico (Pedersen y Hoffman-Goetz, 2005) y, por tanto, susceptible de elevar los marcadores de inflamación. Curiosamente, en el presente estudio, los niveles de PCR no se modificaron después del protocolo de ejercicio físico. Este hecho pudiera estar en concordancia con un reciente estudio que ha sugerido que el ejercicio aeróbico no altera significativamente los niveles de PCR (Stewart *et al.*, 2007).

Con respecto a la rehidratación, los valores de PCR se mantenían bajos y sin diferencia entre los tipos de bebidas rehidratantes.

Factores de complemento

Los factores del complemento C3 y C4 colaboran estrechamente con la respuesta inmunitaria, jugando un papel muy importante en el desarrollo de la inflamación. La inflamación general crónica se asocia con el desarrollo de diversas patologías relacionadas con la edad y el sedentarismo. Existen numerosos marcadores de inflamación sistémica aparte de las citoquinas. Una de las más utilizadas es la ceruloplasmina. Actualmente sabemos que la inflamación es la primera respuesta del sistema inmune contra las infecciones comportándose éstas como un mecanismo de estrés fisiológico. En este sentido, el ejercicio físico se considera como un modelo cuantificable de estrés fisiológico (Pedersen y Hoffman-Goetz, 2005). De hecho, algunos estudios han sugerido que el ejercicio físico intenso produce, a corto plazo, una respuesta inflamatoria, mientras que el entrenamiento físico produce, a largo plazo, un efecto antiinflamatorio (Kasapis y Thompson, 2005; Saito *et al.*, 2003).

Los resultados del presente estudio muestran un aumento en los valores de ceruloplasmina, C3 y C4 después del protocolo de ejercicio. Estos resultados están en concordancia con la literatura científica y sugieren que 60 minutos de ejercicio (60% de la capacidad aeróbica máxima) bajo condiciones de elevada temperatura produce una adaptación en los marcadores. El periodo de recuperación y rehidratación subsiguiente determinó un ligero descenso de los niveles de estos marcadores que ya no eran significativamente diferentes con los que existían antes del ejercicio. Por lo tanto, la rehidratación no produjo efecto sobre las proteínas de inflamación, independientemente del tipo de bebida utilizada.

Citoquinas

A la hora de evaluar la función inmune, en el presente estudio se ha analizado también la capacidad de producción de citoquinas por parte de células mononucleares periféricas convenientemente estimuladas. Las citoquinas son un conjunto de proteínas encargadas

de regular las distintas interacciones entre las células del sistema inmune. Por lo tanto, ejercen una función inmunorreguladora clave en la respuesta inmune e inflamatoria.

En el presente trabajo se han estudiado 6 tipos de citoquinas diferente y lo primero que llama la atención es la gran dispersión que existe en los resultados obtenidos. Todavía en la actualidad no deja de ser un interrogante, el papel específico que juegan las distintas citoquinas en respuesta al ejercicio. Al estudiar las citoquinas en respuesta al ejercicio físico, existen diferencias cuantitativas importantes descritas en la literatura (Fehrenbach y Schneider, 2006). Algunos autores han sugerido que el ejercicio produce una disminución en la cantidad de citoquinas producidas por células mononucleares periféricas estimuladas (Starkie, Hargreaves, Rolland y Febbraio, 2005). En el presente estudio este hecho no se ha observado de una manera evidente, por lo que los resultados globales parecen indicar que las condiciones de ejercicio del presente estudio no han sido suficientes para afectar a la producción de citoquinas.

Con respecto a la rehidratación, se puede observar un aumento significativo en los valores de IFN-g y TNF-a al compararlo con el período post-ejercicio, en aquellos sujetos que se rehidrataron con agua. Este hecho no se ha observado en los sujetos que se rehidrataron con cerveza. Como ya se ha comentado, las citoquinas regulan numerosas respuestas inmunológicas, entre ellas la inflamación. Por lo tanto, el aumento de la producción de estas dos citoquinas (consideradas proinflamatorias) en los sujetos rehidratados únicamente con agua, podría sugerir cierto efecto protector para los sujetos rehidratados con cerveza tras el ejercicio, ya que estos parámetros inflamatorios no aumentaron. En cualquier caso, debido a la gran dispersión en los resultados obtenidos y a la falta de homogeneidad de los valores tras el ejercicio, resulta difícil discutir en profundidad estos resultados.

Los resultados sugieren que la pequeña cantidad de alcohol presente en la cerveza, no es suficiente para comprometer el efecto rehidratante de un consumo moderado de cerveza sobre los parámetros inmunes e inflamatorios en respuesta al ejercicio físico en condiciones ambientales de alta temperatura. De hecho, no se han observado diferencias significativas en los parámetros inmunológicos estudiados al comparar los dos tipos de bebidas utilizadas en la rehidratación post ejercicio (agua y cerveza) en los dos protocolos de carrera aleatorizados utilizados. Por ello, desde el punto de vista de la

recuperación del sistema inmune tras el ejercicio físico, el consumo moderado de cerveza podría considerarse como un modo seguro y/o alternativo de rehidratación después de la práctica deportiva en las condiciones descritas en el presente estudio.

Efectos sobre parámetros inmunológicos

El sistema inmunológico protege al organismo de agentes microbianos patógenos, toxinas, partículas extrañas, células tumorales y procesos autoinmunes. Para mantener el equilibrio biológico se necesita que este sistema funcione normalmente, de manera que constituya una fuerte barrera defensiva contra la invasión de agentes nocivos. En los últimos años, se ha observado un creciente interés en el estudio de la repercusión que tiene el ejercicio sobre el sistema inmunológico. Los estudios epidemiológicos han demostrado una relación entre la incidencia de las infecciones (sobre todo del tracto respiratorio alto) y la práctica deportiva intensa o competiciones extenuantes. Por otro lado y de forma general, parece que una actividad física moderada y habitual podría ejercer beneficios sobre el sistema inmunológico.

En la respuesta fisiológica al ejercicio existen numerosos factores de influencia. Entre ellos cabe destacar, la intensidad del esfuerzo relativo al estado de entrenamiento, la duración del ejercicio y el entorno ambiental que pueden suponer un estrés añadido al propio ejercicio. Asimismo, la deshidratación producida por la actividad física también va a influir sobre la respuesta del sistema inmune.

De acuerdo con numerosos estudios, parece ser que el ejercicio físico moderado realizado con regularidad, puede estimular algunos aspectos de la respuesta inmune, mientras que el ejercicio intenso puede conducir a un estado de inmunosupresión (Nehlsen-Cannarella, 1998; Nieman, 1998^a; Pedersen *et al.*, 1999; Peters-Futre, 1997; Sharp y Koutedakis, 1992; Shepard y Shek, 1996) y por tanto, provocar una mayor susceptibilidad a padecer infecciones (Brenner, Shek, y Shepard, 1994; Nieman, 1997^a, 1997^b; Nieman y Nehlsen-Cannarella, 1994; Pedersen, Rohde, y Zacho, 1996; Shepard y Shek, 1994). Numerosos autores muestran que, después de realizar un ejercicio intenso y prolongado, se produce una situación de inmunosupresión denominada "ventana abierta" (Nieman *et al.*, 1995; Nieman y Pedersen, 1999; Pedersen *et al.*, 1999; Pedersen, Rohde, y Zacho, 1996), caracterizada por una disminución de la actividad de

las células *natural killer*, de las funciones de neutrófilos, de las células T y B y de la concentración de IgA salival (Gabriel y Kindermann, 1997; Nieman, 1998^a; Nieman *et al.*, 1995; Pedersen *et al.*, 1999). Durante este periodo, la capacidad de defensa del organismo está alterada, facilitándose la entrada de virus y bacterias e incrementándose el riesgo de sufrir infecciones de tipo clínico o subclínico, entre las que se producen con mayor frecuencia las infecciones del tracto respiratorio superior (URTI) (Mackinnon, 1997; Nieman *et al.*, 1995; Pyne y Gleeson, 1998). Resumiendo de forma gráfica, al relacionar la intensidad de la actividad física, el sistema inmune y la susceptibilidad de riesgo de infecciones del tracto respiratorio superior (URTI), se ha propuesto, de nuevo aquí, un efecto en J, en este caso invertida (Nieman, 1998b; Woods, Davis, Smith, y Nieman, 1999). Según esto el ejercicio practicado con moderación es positivo mientras que un exceso del mismo resulta negativo (Figura 27).

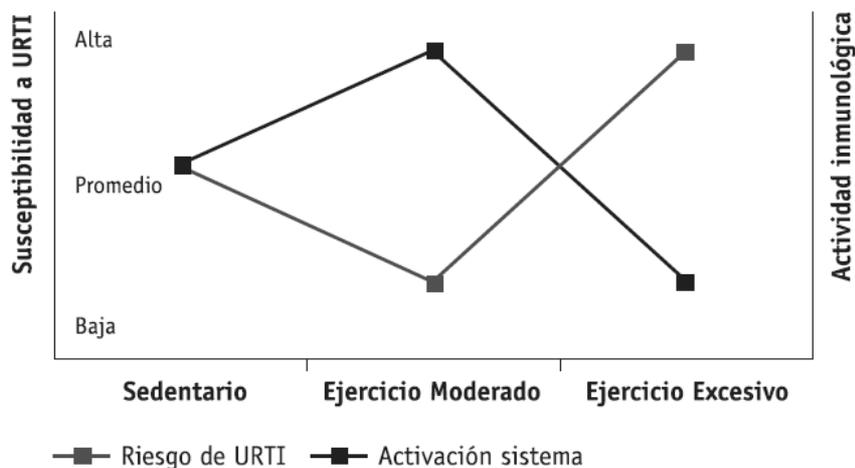


Figura 27. Modelo de la relación entre la intensidad de la actividad física, la activación del sistema inmune y la susceptibilidad para infecciones del tracto respiratorio superior (URTI). Modificado de: Woods *et al.* *Exercise and innate immune function. Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 57-66, 1999.

Fundamentalmente, el ejercicio produce una elevación de los niveles plasmáticos de catecolaminas y corticosteroides, sustancias que tienen capacidad inmunoreguladora. Por otra parte, el daño muscular inducido por el ejercicio da lugar a una serie de alteraciones a nivel inmunitario. Así, como consecuencia de este daño muscular producido por el entrenamiento intenso, el sistema inmune aumenta alrededor de un 25% su capacidad proliferativa en respuesta a mitógenos (Verde, Thomas, Moore, Shek, y Shephard, 1992).

Se ha tratado de comprender si existe una influencia de los complementos nutricionales (dietas ricas en carbohidratos y vitaminas del grupo B) en la respuesta inmune durante el ejercicio intenso y prolongado. Sin embargo, aún falta evidencia para comprender exactamente todas las modificaciones que (dependiendo del tipo, intensidad, duración y tiempo que se ha realizado el ejercicio) influyen sobre las múltiples y complejas respuestas que tiene el sistema inmunológico, con el fin de obtener conclusiones relevantes para poder ser aplicadas en la práctica.

Lo cierto es que la inmunología aparece cada vez más unida al deporte y se muestra como una de las claves secretas del organismo en ejercicios de intensidad elevada o larga duración. Los niveles de leucocitos y los recuentos de linfocitos y de otras células involucradas tanto en la inmunidad celular como en la humoral están adquiriendo cada vez más valor para comprender la capacidad de recuperación de los deportistas.

Células hemáticas de la serie blanca.

Las células hemáticas que forman parte de este sistema de defensa son los leucocitos o también llamados glóbulos blancos. La valoración de los niveles de las distintas células leucocitarias es punto de partida fundamental a la hora de valorar el impacto del ejercicio sobre el sistema inmune, así como sobre el proceso de recuperación. El mecanismo por el cual los leucocitos, y sus variedades, son capaces de migrar diferencialmente a distintos tipos de tejidos después del ejercicio físico, parece ser dependiente de la duración y la intensidad del mismo (Nieman, 1997c).

Tal y como muestran nuestros resultados correspondientes a la medida de la serie blanca leucocitaria del presente estudio, se aprecia un aumento en el recuento de leucocitos

totales tras el ejercicio. Estos valores permanecieron elevados tras el período de rehidratación sin que se hayan apreciado diferencias en función del tipo de bebida rehidratante consumida.

Las variedades de leucocitos son: neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos y basófilos. El componente mayoritario son los neutrófilos que representan en torno al 60%, seguido por los linfocitos que constituyen un 30%. Los neutrófilos son células que actúan como la primera línea de defensa del organismo frente a los invasores extraños, y ello mediante un proceso denominado fagocitosis. Con respecto a los neutrófilos, como cabía de esperar, el comportamiento es similar al producido para el conjunto de los leucocitos, observándose un aumento de los mismos tras el ejercicio, y una tendencia a seguir aumentado tras el período de rehidratación en ambas condiciones experimentales. Este hecho refleja en gran medida que el aumento de los leucocitos totales tras el ejercicio se ha producido a costa de la fracción de neutrófilos fundamentalmente. Estos resultados son coherentes con la literatura científica, que ha descrito un impacto del ejercicio sobre el sistema inmune, basado principalmente en un aumento en el número de leucocitos (Brines, Hoffman-Goetz y Pedersen, 1996; Lim, Byrne, Chew y Mackinnon, 2005; Mackinnon, 1994; Nieman y Nehlsen-Cannarella, 1994; Pedersen, Kappel, Klokke, Nielsen y Secher, 1994; Pedersen y Nieman, 1998; Pedersen, Ostrowski, Rohde y Bruunsgaard, 1998). Además, durante la práctica deportiva, la exposición a altas temperaturas produce también un aumento en los neutrófilos circulantes (Walsh y Whitham, 2006). Por este hecho, la alta temperatura a la cual se sometió a los voluntarios durante la prueba, pudo ser determinante de la relativa neutrofilia observada tras el ejercicio físico.

Con respecto a la rehidratación post-ejercicio, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos (agua vs cerveza). Los valores de leucocitos y neutrófilos siguieron una tendencia a aumentar después de la hidratación con ambos tratamientos por lo que, *a priori*, 2 horas de hidratación, en las condiciones del presente estudio, no son suficientes para hacer volver los niveles de neutrófilos a los valores basales, independientemente del tipo de bebida utilizada para la rehidratación.

Dado que las diferencias entre rehidratación con cerveza y agua, con respecto a los valores de leucocitos y neutrófilos no son significativas, los resultados del presente

estudio sugieren que la rehidratación con un consumo moderado de cerveza produce al menos, los mismos efectos sobre los leucocitos y neutrófilos que la rehidratación solamente con agua después del ejercicio.

Los linfocitos son un tipo de leucocitos encargados de la inmunidad específica o adquirida. Brevemente, señalar que los linfocitos se fabrican en la médula ósea y, bien permanecen allí y maduran a linfocitos B (inmunidad humoral), o bien se desplazan hasta el timo, donde maduran a linfocitos T (inmunidad celular). El tipo de respuesta (específica) que producen los linfocitos es muy importante, ya que comprende un conjunto de mecanismos de reacción desarrollados por la exposición a antígenos específicos, que desencadenan una respuesta de “memoria inmunológica” largo plazo. Con todo ello, y con respecto a los valores de linfocitos del presente estudio, se puede observar que no se modifican en respuesta al ejercicio. Sin embargo, tras la rehidratación se produce un ligero aumento que sólo alcanza significación estadística cuando dicha rehidratación se produce con agua pero no con cerveza. En cualquier caso, este hecho no es relevante, ya que se observa que los valores de linfocitos no se han comportado homogéneamente en ambos grupos (agua y cerveza) tras el ejercicio. Por lo tanto, ese comportamiento tan diferente entre los grupos de hidratación sugiere que las diferencias por tratamiento se deben precisamente al diferente comportamiento de los valores de linfocitos tras el ejercicio, sin que para ello se aprecie un mecanismo lógico que lo explique.

Por otro lado, cabe destacar una disminución en los valores de eosinófilos tras el ejercicio físico, que continúan disminuyendo tras el período de rehidratación con agua, aunque sin diferencias entre ambos grupos. El resto de parámetros de la serie blanca (monocitos y basófilos) no sufrieron cambios durante el estudio.

Subpoblaciones linfocitarias

Los linfocitos son un conjunto de células leucocitarias que tienen distintas funciones y expresan un gran número de moléculas de superficie diferentes (CD), que se pueden utilizar para distinguir (o “marcar”) los distintos tipos de subpoblaciones que se distinguen entre sí por la función que ejercen durante la respuesta inmune. La función de las poblaciones linfocitarias es compleja y se encuentra con una gran interacción

entre ellas. Así, el marcador CD3 corresponde con los linfocitos T maduros, que son los efectores primarios de la inmunidad mediada por células. Éstos abandonan el timo y se desplazan a otros órganos del sistema inmunológico, como el bazo, nodos linfáticos, médula ósea y a la sangre. El marcador CD16+56 corresponde con las células NK, que son componentes importantes en la defensa inmunitaria no específica y están encargadas de destruir determinadas células tumorales o infectadas por virus de manera inespecífica, respondiendo desde el primer momento. Los linfocitos CD4, llamados colaboradores (helper) o efectores, ayudan a los linfocitos B a producir anticuerpos y a las células NK en el ataque a sustancias extrañas. El marcador CD8 corresponde a los linfocitos T citotóxicos o supresores cuya principal función es la de defensa contra células infectadas por virus, bacterias y protozoos. Además éstos se encargan de suprimir a los linfocitos CD4. Sin esta supresión, el sistema inmunológico seguiría trabajando después de la infección. Por último, destacar que el marcador CD19 corresponde a los linfocitos B, de los cuales depende la inmunidad mediada por anticuerpos con actividad específica de fijación de antígenos.

Con respecto a las subpoblaciones de linfocitos T, parece que la actividad física afecta a su proliferación (Nielsen y Pedersen, 1997). De todos modos, los estudios sobre los efectos del ejercicio sobre la función linfocitaria han mostrado resultados inconsistentes. Nielsen y Pedersen encontraron que las fracciones de subpoblaciones CD3, CD4 y CD8 de los linfocitos T totales se encontraban reducidos durante el ejercicio físico. De hecho, la linfopenia que se ha observado después del ejercicio puede ser en parte responsable de la alta incidencia de infecciones del tracto superior respiratorio después de un ejercicio físico intenso encontrada en algunos estudios (Nielsen y Pedersen, 1997). Por el contrario Green *et al.*, encontraron que el porcentaje de linfocitos T (CD8) no estaba reducido tras unas condiciones de ejercicio similares a las del presente estudio (60 minutos de carrera al 85% del VO₂ máximo) (Green, Rowbottom y Mackinnon, 2002). En el presente estudio no se han observado cambios significativos en el porcentaje de las distintas subpoblaciones de linfocitos tras 60 minutos de ejercicio físico en condiciones ambientales de alta temperatura. Este hecho sugiere que la intensidad del ejercicio realizado no ha conseguido tener efecto sobre la distribución de las subpoblaciones linfocitarias coincidiendo además, con estudios previos (Green, Rowbottom y Mackinnon, 2002).

Con respecto a los porcentajes de linfocitos tras la rehidratación, curiosamente se puede observar una disminución en el porcentaje de linfocitos T maduros (CD3) pero únicamente en los sujetos que se rehidrataron con agua, lo cual se acompaña de un aumento en el porcentaje de linfocitos NK (CD16+56). Este hecho sugiere, que la disminución del porcentaje de linfocitos T maduros (CD3) se ha compensado con un aumento de los linfocitos NK (CD16+56) en los sujetos que se rehidrataron únicamente con agua. Por el contrario, la rehidratación con cerveza no afectó de manera significativa la distribución de las distintas subpoblaciones linfocitarias. De modo general, la disminución de los linfocitos T maduros (CD3) a costa de un aumento de las células NK observada en los sujetos rehidratados con agua, indica una disminución de la inmunidad celular frente a un aumento de la inmunidad inespecífica.

Efectos sobre la función psico-cognitiva. Habilidades perceptivo-motrices

Las habilidades perceptivo - motrices y el aspecto cognitivo en general son susceptibles de cambiar con el ejercicio y el ambiente caluroso. Dependiendo del tipo de variable o habilidad, y de las características específicas del ejercicio y el entorno, la respuesta del sistema nervioso, y del organismo en general, pueden ser diferentes. Por otra parte, son factores que pueden influenciarse negativamente por la ingesta de alcohol.

Por otro lado, los efectos específicos de la deshidratación sobre el rendimiento psico-cognitivo son importantes y también se ven influidos por otros factores tales como temperatura, duración de la exposición, humedad relativa, aclimatación y nivel de alcalosis. Los datos disponibles sugieren que el efecto negativo sobre la capacidad psico-cognitiva cabe atribuirlo más al aumento de la temperatura corporal que a la propia deshidratación, siempre que ésta no sea excesiva (Cian *et al.*, 2000) aunque ambos factores también se potencian mutuamente. Sharma, Sridharan, Pichan y Panwar (1986) han estudiado el rendimiento psico-cognitivo de sujetos jóvenes y sanos que se deshidrataban alcanzando pérdidas de 1, 2 y 3% del peso corporal. Por debajo del 1% de deshidratación, no se producía prácticamente ningún efecto en las funciones de coordinación. Por encima de ese nivel, se observaba una disminución de la mayoría de las funciones cognitivas evaluadas, y diversos estudios han mostrado que con niveles de deshidratación superiores al 2% del peso corporal se producen deterioros en tareas viso-

motoras, psico-motoras, memoria a corto plazo y rendimiento cognitivo (Grandjean y Grandjean, 2007; Lieberman, 2007; Maughan, Shirreffs y Watson, 2007; Tomporowski, 2003).

Aunque el ejercicio puede tener un efecto favorecedor sobre las funciones cognitivas (Brisswalter, Collardeau, y Rene, 2002; Tomporowski, Beasman, Ganio y Cureton, 2007), dicho efecto positivo puede desaparecer a medida que aumenta la duración del ejercicio (Grego *et al.*, 2005). De hecho, deshidratación, hipertermia y agotamiento de reservas glucogénicas afectan negativamente el rendimiento no sólo físico sino también psico-cognitivo (Armstrong y Epstein, 1999; Downey y Seagrave, 2000). Este hecho cobra especial trascendencia en aquellas actividades donde la concentración, atención y complejidad motora de la actividad son factores determinantes.

Tiempo de reacción

Los resultados del presente estudio relativos a las habilidades perceptivo-motrices, y en concreto a los tiempos de reacción ante estímulos específicos muestran que, transcurrida la carrera, no se producen cambios significativos sobre los tiempos de reacción simple, discriminativo, total de respuestas ante estímulos múltiples, número de respuestas incorrectas ante estímulos múltiples, número de respuesta dentro de tiempo ante estímulos múltiples ni sobre el número de respuestas correctas ante estímulos múltiples. Mientras que se aprecia un descenso significativo tanto en la duración del test de estímulos múltiples como en el tiempo de reacción múltiple.

Estos resultados sugieren que el protocolo de carrera, *a priori*, puede influir sobre el sistema nervioso central aumentando su nivel de activación como consecuencia del ejercicio, siendo ésto lo que permitiría una mayor velocidad en la transmisión de estímulos y, por lo tanto, un descenso en el tiempo de reacción. En este caso, el tiempo de reacción que ha mejorado su rendimiento es el que implicaba la actividad de mayor complejidad de todos los evaluados. Esto posiblemente se deba a que al ser el más complejo de todos (por el número de estímulos que implica) el nivel de atención, coordinación y discriminación que requiere también sea el más susceptible de verse mejorado o empeorado, observándose lo primero en nuestro estudio. Estos resultados coinciden con algunos autores que han encontrado una mejora de la ejecución y

rendimientos en ciertas tareas o funciones cognitivas tras realizar ejercicio (Brisswalter, Collardeau y Rene, 2002; Grego *et al.*, 2005; Presland, Dowson y Cairns, 2005; Tomporowski, Beasman, Ganio y Cureton, 2007).

Las variables que no cambiaron significativamente tras la carrera, permanecen sin sufrir cambios tras el periodo de rehidratación con distintos tipos de bebidas. Esto muestra que la ingesta de 660 ml de cerveza con alcohol, junto con agua *ad libitum*, no implica ningún tipo de deterioro sobre variables tan importantes a nivel cognitivo como son el número de respuestas correctas o incorrectas, respuestas ejecutadas dentro de tiempo, o tiempo necesario para dar esas respuestas. Estos resultados constituyen una evidencia de que la cantidad de alcohol existente en la dosis ingerida no llega a tener ningún efecto negativo sobre el sistema nervioso, debido posiblemente a los aspectos relativos a su metabolismo y la concentración final alcanzada, que ya han sido comentados en profundidad en puntos anteriores. Por tanto, la ingesta de una moderada cantidad de cerveza en la rehidratación post-esfuerzo puede considerarse segura también bajo este punto de vista.

Curiosamente, la duración del test de estímulos múltiples sufre un descenso significativo tras la realización de ejercicio. Este descenso se mantiene tras el periodo de rehidratación, y ello tanto cuando los sujetos se rehidrataban con agua o cuando lo hacían también con cerveza. En esta línea, la significación estadística se alcanza incluso cuando se comparan los resultados con los que se observan tras la realización de ejercicio. De la misma manera, cuando se compara el tiempo de reacción que presentan los sujetos tras la exposición a estímulos múltiples, se observa que la realización de ejercicio en ambiente caluroso ocasiona una disminución significativa en dicho tiempo. Esta reducción continúa y se acentúa tras el periodo de rehidratación sin que se hayan observado tampoco diferencias en función del tipo de bebida utilizada. Hay que destacar que para las dos variables anteriores, el punto final (tras la rehidratación) permaneció en valores significativamente inferiores a los iniciales. Este descenso tras la rehidratación y recuperación puede deberse al efecto combinado y mantenido en el tiempo de la ya citada activación del sistema nervioso tras el ejercicio junto con la recuperación hídrica producida con ambos tipos de bebidas. El efecto de la cerveza sobre la duración del test puede ser atribuido al mayor grado de desinhibición que pueden presentar los sujetos sin

que ello se haya acompañado de un empeoramiento en los resultados del test tal y como sugieren los resultados del presente estudio.

Percepción Periférica

Las habilidades perceptivo - motrices relativas a la percepción periférica constituyen un importante factor dentro de las capacidades del ser humano para percibir estímulos y reaccionar ante ellos. En este sentido, en el presente estudio se analiza el test de percepción periférica antes de la carrera, después de la misma y tras el periodo de rehidratación. Según se aprecia, una vez finalizada la carrera, se encontró un descenso significativo en la duración del test. Esto se encuentra en consonancia con lo previamente referido para variables similares medidas en otros test. Esto nos hace pensar que el tiempo de reacción medido en los diferentes tipos de test es más susceptible de verse afectado por el ejercicio, mediado por una posible mayor activación del sistema nervioso, y por lo tanto de mejorar su velocidad de reacción ante determinados estímulos.

Por otro lado, tanto el campo visual como los ángulos de visión izquierdo y derecho descienden varios grados tras la realización de la carrera pero sin llegar a ser significativos estadísticamente. Tampoco cambia el número de estímulos periféricos omitidos. Estos resultados aportan una información de especial interés sobre la afectación de las habilidades perceptivo –motrices tras realizar ejercicio físico y en particular en un ambiente caluroso, por lo que la interpretación anterior debe de ser matizada.

Así, cuando tras someterse a un intenso ejercicio físico, que conlleva además el estrés de la deshidratación, el organismo es requerido para realizar tareas (en este caso los tests) que poseen un alto grado de concentración, su sistema nervioso responde con mayor activación, lo que efectivamente le permite responder más rápidamente a los estímulos, como muestran los resultados anteriormente comentados. Pero este aumento en la velocidad de respuesta no siempre va seguido de un aumento en la precisión de la misma. Muestra de ello es que podemos ver que el campo de visión tiende a deteriorarse tras la carrera para, posteriormente, tras la rehidratación, conseguir frenar dicho deterioro. Estas contradicciones responden a que, aunque el organismo tras el ejercicio

adopta un estado de pre-alerta y, en consecuencia, disminuye su tiempo de reacción, no es capaz de mantener el nivel de concentración y precisión en tareas de mayor complejidad. En definitiva, podríamos decir, que ante el estado de fatiga originado por el estrés y deshidratación del ejercicio, el organismo responde mejorando el tiempo de reacción y deteriorando la precisión en su respuesta. Los efectos negativos del ejercicio y la deshidratación sobre la capacidad cognitiva ya han sido sugeridos en numerosas ocasiones por la literatura (Grandjean y Grandjean, 2007; Lieberman, 2007; Presland, Dowson y Cairns, 2005) aunque estudios muy recientes matizan estas afirmaciones añadiendo que parte de los resultados contradictorios hallados pueden deberse a un incremento en activación.

Cuando los sujetos se rehidratan tanto con cerveza y agua como con agua, no se producen cambios significativos en ninguna de las variables analizadas, permaneciendo todas ellas estables. En consecuencia, tampoco aquí se consiguen objetivar efectos negativos ligados a la ingesta de cerveza la cual resulta, en la cantidad consumida (660 ml), tan segura como pueda ser el agua.

En definitiva, la cerveza, por su composición, características organolépticas y su bajo contenido alcohólico, ingerida en dosis moderadas por personas adultas habituadas a su consumo, puede suponer una bebida alternativa para rehidratarse tras la práctica deportiva. No se han encontrado efectos deletéreos en ninguno de los niveles analizados al compararla con una bebida neutral como es el agua. Dada la novedad de los resultados encontrados son necesarios futuros estudios orientados a profundizar y perfeccionar el conocimiento en esta área específica. A continuación, pasamos a presentar las conclusiones específicas que pueden ser retenidas a partir de los resultados derivados de la presente tesis doctoral.

CONCLUSIONES

1^a Una prueba de esfuerzo físico consistente en una carrera de 60 minutos de duración, al 60% de la capacidad aeróbica máxima y realizada en condiciones de elevada temperatura ambiental (35°C, 60% de humedad relativa) determina en sujetos jóvenes, sanos y entrenados unas pérdidas hídricas importantes (1,5-2 litros) que corresponden a una deshidratación moderada (2,4% de pérdida promedio de peso corporal, con disminución específica de la masa magra). Dos horas de rehidratación posterior sólo con agua o con cerveza (660 ml) y agua permite recuperar un 1,6% del peso corporal quedando sin recuperar en torno al 1% sin que en ello exista diferencia entre ingerir o no cerveza. La ingesta total de líquido ingerido (unos 1,6 litros) está también igual en ambas condiciones.

2^a Tras la prueba de ejercicio y posterior rehidratación *ad libitum*, la ingesta de una cantidad moderada de cerveza, comparada con la ingesta de sólo agua no afecta ni la cantidad de orina producida ni su composición.

3^a El descenso del volumen plasmático originado por la carrera, y estimado a partir de la variación en la concentración hemática es de un 5,2% recuperándose con la rehidratación en un 3,4% sin que la ingesta de cerveza tenga efecto alguno. Igualmente, el ejercicio y la posterior rehidratación afectan la concentración de diversos parámetros séricos pero no se objetiva efecto alguno atribuible a la cerveza.

4^a El ejercicio físico realizado por los sujetos es percibido como extenuante y determina cambios endocrino-metabólicos significativos que en parte son revertidos con el descanso y rehidratación. La ingestión de cerveza no afecta el proceso.

5^a El ejercicio aumenta los niveles indicativos de daño tisular e inflamación. Estos cambios se revierten sólo en parte durante el proceso de recuperación y rehidratación, sin que la ingesta de cerveza lo influencie en uno u otro sentido.

6^a El ejercicio afecta a varios niveles la respuesta inmunológica. Sólo parte de esos efectos se revierten con la rehidratación. La ingesta de cerveza no demuestra tener un efecto significativo.

7^a El ejercicio y las condiciones de temperatura en que se realiza afectan las habilidades perceptivo motrices, las cuales también se ven posteriormente influenciadas por el proceso de recuperación y rehidratación. No se ha objetivado que la ingesta de cerveza, en la cantidad que se ha consumido, tenga efecto sobre dichas habilidades.

Conclusión general:

Según los resultados derivados de la presente Tesis Doctoral la ingestión de una cantidad moderada de cerveza tras la realización de ejercicio físico, y por parte de personas habituadas a su consumo, es tan efectiva como el agua en cuanto a su capacidad de rehidratación no habiéndose objetivado ningún efecto que haga desaconsejable su consumo.

REFERENCIAS

1. American College of Sport Medicine. (1982). The use of alcohol in sports: position stand of American College of Sport Medicine. *Med Sci Sports Exerc*, 14(2), ix–xi.
2. American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine. (2000). Position about nutrition and athletic performance. *J Am Diet Assoc*, 100(12), 1543-1556.
3. Armstrong, L. E., & Epstein, Y. (1999). Fluid-electrolyte balance during labor and exercise: concepts and misconceptions. *Int J Sport Nutr*, 9(1), 1-12.
4. Armstrong, L. E., Whittlesey, M. J., Casa, D. J., Elliott, T. A., Kavouras, S. A., Keith, N. R., et al. (2006). No effect of 5% hypohydration on running economy of competitive runners at 23 degrees C. *Med Sci Sports Exerc*, 38(10), 1762-1769.
5. Baer, D. J., Judd, J. T., Clevidence, B. A., Muesing, R. A., Campbell, W. S., Brown, E. D., et al. (2002). Moderate alcohol consumption lowers risk factors for cardiovascular disease in postmenopausal women fed a controlled diet. *Am J Clin Nutr*, 75(3), 593-599.
6. Bassus, S., Mahnel, R., Scholz, T., Wegert, W., Westrup, D., & Kirchmaier, C. M. (2004). Effect of dealcoholized beer (Bitburger Drive) consumption on hemostasis in humans. *Alcohol Clin Exp Res*, 28(5), 786-791.
7. Below, P. R., Mora-Rodriguez, R., Gonzalez-Alonso, J., & Coyle, E. F. (1995). Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 27(2), 200-210.
8. Bergeron, M. F. (2003). Heat cramps: fluid and electrolyte challenges during tennis in the heat. *J Sci Med Sport*, 6(1), 19-27.
9. Berneis, K., & Keller, U. (2000). Bioelectrical impedance analysis during acute changes of extracellular osmolality in man. *Clin Nutr*, 19(5), 361-366.

10. Bilzon, J. L., Murphy, J. L., Allsopp, A. J., Wootton, S. A., & Williams, C. (2002). Influence of glucose ingestion by humans during recovery from exercise on substrate utilisation during subsequent exercise in a warm environment. *Eur J Appl Physiol*, 87(4-5), 318-326.
11. Blomqvist, G., Saltin, B., & Mitchell, J. H. (1970). Acute effects of ethanol ingestion on the response to submaximal and maximal exercise in man. *Circulation*, 42(3), 463-470.
12. Bobo, M. W. (1972). Effects of alcohol upon maximum oxygen uptake, lung ventilation, and heart rate. *Res Q*, 43(1), 1-6.
13. Bond, V., Franks, B. D., & Howley, E. T. (1984). Alcohol, cardiorespiratory function and work performance. *Br J Sports Med*, 18(3), 203-206.
14. Brenner, I. K., Shek, P. N., & Shephard, R. J. (1994). Infection in athletes. *Sports Med*, 17(2), 86-107.
15. Brenner, I. K., Zamecnik, J., Shek, P. N., & Shephard, R. J. (1997). The impact of heat exposure and repeated exercise on circulating stress hormones. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76(5), 445-454.
16. Brines, R., Hoffman-Goetz, L., & Pedersen, B. K. (1996). Can you exercise to make your immune system fitter? *Immunol Today*, 17(6), 252-254.
17. Brisswalter, J., Collardeau, M., & Rene, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med*, 32(9), 555-566.
18. Brouns, F. (1991). Heat--sweat--dehydration--rehydration: a praxis oriented approach. *J Sports Sci*, 9 Spec No, 143-152.
19. Burke, L. M. (2001). Nutritional needs for exercise in the heat. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 128(4), 735-748.
20. Burke, L. M., & Read, R. S. (1993). Dietary supplements in sport. *Sports Med*, 15(1), 43-65.

21. Casa, D. J., Clarkson, P. M., & Roberts, W. O. (2005). American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr Sports Med Rep*, 4(3), 115-127.
22. Cawthon, P. M., Fink, H. A., Barrett-Connor, E., Cauley, J. A., Dam, T. T., Lewis, C. E., et al. (2007). Alcohol use, physical performance, and functional limitations in older men. *J Am Geriatr Soc*, 55(2), 212-220.
23. Cian, C., Koulmann, N., Barraud, P., Raphel, C., Jiménez, C., & Melin, B. (2000). Influence of variations in body hydration on cognitive function: effect of hyperhydration, heat stress, and exercise-induced dehydration. *J Psychophysiology*, 14, 29-36.
24. Claybaugh, J. R., Sato, A. K., Crosswhite, L. K., & Hassell, L. H. (2000). Effects of time of day, gender, and menstrual cycle phase on the human response to a water load. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 279(3), R966-973.
25. Coombes, J. S., & Hamilton, K. L. (2000). The effectiveness of commercially available sports drinks. *Sports Med*, 29(3), 181-209.
26. Coyle, E. F. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *J Sports Sci*, 22(1), 39-55.
27. Cuisinier, C., Michotte De Welle, J., Verbeeck, R. K., Poortmans, J. R., Ward, R., Sturbois, X., et al. (2002). Role of taurine in osmoregulation during endurance exercise. *Eur J Appl Physiol*, 87(6), 489-495.
28. Cheung, S. S., McLellan, T. M., & Tenaglia, S. (2000). The thermophysiology of uncompensable heat stress, Physiological manipulation and individual characteristics. *Sports Med*, 29, 329 - 359.
29. Cheuvront, S. N., Carter, R., 3rd, Montain, S. J., & Sawka, M. N. (2004). Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14(5), 532-540.
30. Cheuvront, S. N., Carter, R., 3rd, & Sawka, M. N. (2003). Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep*, 2(4), 202-208.

31. Chevront, S. N., Haymes, E. M., & Sawka, M. N. (2002). Comparison of sweat loss estimates for women during prolonged high-intensity running. *Med Sci Sports Exerc*, 34(8), 1344-1350.
32. Chrysohoou, C., Panagiotakos, D. B., Pitsavos, C., Skoumas, J., Toutouza, M., Papaioannou, I., et al. (2003). Effects of chronic alcohol consumption on lipid levels, inflammatory and haemostatic factors in the general population: the 'ATTICA' Study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 10(5), 355-361.
33. De Bree, A., Verschuren, W. M., Blom, H. J., & Kromhout, D. (2001). Alcohol consumption and plasma homocysteine: what's brewing? *Int J Epidemiol*, 30(3), 626-627.
34. Delgado Fernández M., Gutiérrez Saínz A., Castillo Garzón MJ. Entrenamiento Físico-Deportivo y Alimentación. De la infancia a la edad adulta. Ed. Paidotribo.
35. Denke, M. A. (2000). Nutritional and health benefits of beer. *Am J Med Sci*, 320(5), 320-326.
36. Di Castelnuovo, A., Costanzo, S., Bagnardi, V., Donati, M. B., Iacoviello, L., & de Gaetano, G. (2006). Alcohol dosing and total mortality in men and women: an updated meta-analysis of 34 prospective studies. *Arch Intern Med*, 166(22), 2437-2445.
37. Díaz, L. E., Montero, A., Gonzalez-Gross, M., Vallejo, A. I., Romeo, J., & Marcos, A. (2002). Influence of alcohol consumption on immunological status: a review. *Eur J Clin Nutr*, 56 Suppl 3, S50-53.
38. Díaz Rubio, M. (2009). Capítulo 5: Cerveza y Nutrición. *El libro de oro de la cerveza*. Ed. Turner / Cerveceros de España. ISBN 978-84-7506-890-9.
39. Dill, D. B., & Costill, D. L. (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol*, 37(2), 247-248.
40. Donato, F., Assanelli, D., Marconi, M., Corsini, C., Rosa, G., & Monarca, S. (1994). Alcohol consumption among high school students and young athletes in north Italy. *Rev Epidemiol Sante Publique*, 42(3), 198-206.

41. Downey, D., & Seagrave, R. C. (2000). Mathematical modeling of the human body during water replacement and dehydration: body water changes. *Ann Biomed Eng*, 28(3), 278-290.
42. Engell, D. B., Maller, O., Sawka, M. N., Francesconi, R. N., Drolet, L., & Young, A. J. (1987). Thirst and fluid intake following graded hypohydration levels in humans. *Physiol Behav*, 40(2), 229-236.
43. Epstein, Y., Moran, D. S., Shapiro, Y., Sohar, E., & Shemer, J. (1999). Exertional heat stroke: a case series. *Med Sci Sports Exerc*, 31(2), 224-228.
44. Fehrenbach, E., & Schneider, M. E. (2006). Trauma-induced systemic inflammatory response versus exercise-induced immunomodulatory effects. *Sports Med*, 36(5), 373-384.
45. Gabriel, H., & Kindermann, W. (1997). The acute immune response to exercise: what does it mean? *Int J Sports Med*, 18 Suppl 1, S28-45.
46. Gaziano, J. M., Hennekens, C. H., Godfried, S. L., Sesso, H. D., Glynn, R. J., Breslow, J. L., et al. (1999). Type of alcoholic beverage and risk of myocardial infarction. *Am J Cardiol*, 83(1), 52-57.
47. Gigueux, I., Gagnon, J., St-Pierre, A., Cantin, B., Dagenais, G. R., Meyer, F., et al. (2006). Moderate alcohol consumption is more cardioprotective in men with the metabolic syndrome. *J Nutr*, 136(12), 3027-3032.
48. Gisolfi, C. V., & Duchman, S. M. (1992). Guidelines for optimal replacement beverages for different athletic events. *Med Sci Sports Exerc*, 24(6), 679-687.
49. Gleeson, M., McDonald, W. A., Pyne, D. B., Cripps, A. W., Francis, J. L., Fricker, P. A., et al. (1999). Salivary IgA levels and infection risk in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 31(1), 67-73.
50. Gonzalez-Alonso, J., Heaps, C. L., & Coyle, E. F. (1992). Rehydration after exercise with common beverages and water. *Int J Sports Med*, 13(5), 399-406.

51. González-Alonso, J., Mora-Rodríguez, R., & Coyle, E. F. (2000). Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 278(2), H321-330.
52. González Gross, M. (2006) En: *Fisiología del ejercicio* Cap. 12. J. López Chicharro y A. Fernández Vaquero. 3ª. Edición. Editorial Médica Panamericana.
53. González-Gross, M., Gutiérrez, A., Mesa, J. L., Ruiz-Ruiz, J., & Castillo, M. J. (2001). [Nutrition in the sport practice: adaptation of the food guide pyramid to the characteristics of athletes diet]. *Arch Latinoam Nutr*, 51(4), 321-331.
54. González-Gross, M., Lebrón, M., & Marcos, A. (2000). *Revisión bibliográfica sobre los efectos del consumo moderado de cerveza sobre la salud*. Madrid: Centro de Información Cerveza y Salud.
55. Grandjean, A. C., & Grandjean, N. R. (2007). Dehydration and cognitive performance. *J Am Coll Nutr*, 26(5 Suppl), 549S-554S.
56. Green, K. J., Rowbottom, D. G., & Mackinnon, L. T. (2002). Exercise and T-lymphocyte function: a comparison of proliferation in PBMC and NK cell-depleted PBMC culture. *J Appl Physiol*, 92(6), 2390-2395.
57. Greenleaf, J. E. (1992). Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc*, 24(6), 645-656.
58. Grego, F., Vallier, J. M., Collardeau, M., Rousseu, C., Cremieux, J., & Brisswalter, J. (2005). Influence of exercise duration and hydration status on cognitive function during prolonged cycling exercise. *Int J Sports Med*, 26(1), 27-33.
59. Gutierrez, A., Mesa, J. L., Ruiz, J. R., Chiroso, L. J., & Castillo, M. J. (2003). Sauna-induced rapid weight loss decreases explosive power in women but not in men. *Int J Sports Med*, 24(7), 518-522.
60. Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2001). *Tratado de Fisiología Médica*. McGraw-Hill. Interamericana. Décima edición.

61. Hebbelinck, M. (1959). The effects of a moderate dose of alcohol on a series of functions of physical performance in man. *Arch Int Pharmacodyn Ther*, 120, 402-405.
62. Hoffman, J. R., Maresh, C. M., Armstrong, L. E., Gabaree, C. L., Bergeron, M. F., Kenefick, R. W., et al. (1994). Effects of hydration state on plasma testosterone, cortisol and catecholamine concentrations before and during mild exercise at elevated temperature. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 69(4), 294-300.
63. Hoffmeister, H., Schelp, F. P., Mensink, G. B., Dietz, E., & Bohning, D. (1999). The relationship between alcohol consumption, health indicators and mortality in the German population. *Int J Epidemiol*, 28(6), 1066-1072.
64. Institute of Medicine. (2000). Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin and Choline. Washington: Food Nutrition Board.
65. Institute of Medicine. (2005). Water. En: Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium and Sulfate. Washington, D.C: National academy Press, 73-185.
66. Jeukendrup, A. E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, 20(7-8), 669-677.
67. Juhlin-Dannfelt, A., Jorfeldt, L., Hagenfeldt, L., & Hulten, B. (1977). Influence of ethanol on non-esterified fatty acid and carbohydrate metabolism during exercise in man. *Clin Sci Mol Med*, 53(3), 205-214.
68. Kasapis, C., & Thompson, P. D. (2005). The effects of physical activity on serum C-reactive protein and inflammatory markers: a systematic review. *J Am Coll Cardiol*, 45(10), 1563-1569.
69. Kavouras, S. A., Armstrong, L. E., Maresh, C. M., Casa, D. J., Herrera-Soto, J. A., Scheett, T. P., et al. (2006). Rehydration with glycerol: endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory responses during exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 100(2), 442-450.

70. Khanna, G. L., & Manna, I. (2005). Supplementary effect of carbohydrate-electrolyte drink on sports performance, lactate removal & cardiovascular response of athletes. *Indian J Med Res*, 121(5), 665-669.
71. Khaw, K. T., Wareham, N., Bingham, S., Welch, A., Luben, R., & Day, N. (2008). Combined Impact of Health Behaviours and Mortality in Men and Women: The EPIC-Norfolk Prospective Population Study. *PLoS Med*, 5(1), e12.
72. Kloner, R. A., & Rezkalla, S. H. (2007). To drink or not to drink? That is the question. *Circulation*, 116(11), 1306-1317.
73. Kovacs, E. M., Schmahl, R. M., Senden, J. M., & Brouns, F. (2002). Effect of high and low rates of fluid intake on post-exercise rehydration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 12(1), 14-23.
74. Koziris, L. P., Kraemer, W. J., Gordon, S. E., Incledon, T., & Knuttgen, H. G. (2000). Effect of acute postexercise ethanol intoxication on the neuroendocrine response to resistance exercise. *J Appl Physiol*, 88(1), 165-172.
75. Laursen, P. B., Suriano, R., Quod, M. J., Lee, H., Abbiss, C. R., Nosaka, K., et al. (2006). Core temperature and hydration status during an Ironman triathlon. *Br J Sports Med*, 40(4), 320-325.
76. Leger, L., & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Universite de Montreal track test. *Can J Appl Sport Sci*, 5(2), 77-84.
77. Leiper, J. B., Broad, N. P., & Maughan, R. J. (2001). Effect of intermittent high-intensity exercise on gastric emptying in man. *Med Sci Sports Exerc*, 33(8), 1270-1278.
78. Lieber, C. S. (2000). ALCOHOL: its metabolism and interaction with nutrients. *Annu Rev Nutr*, 20, 395-430.
79. Lieberman, H. R. (2007). Hydration and cognition: a critical review and recommendations for future research. *J Am Coll Nutr*, 26(5 Suppl), 555S-561S.

80. Lim, C. L., Byrne, C., Chew, S. A., & Mackinnon, L. T. (2005). Leukocyte subset responses during exercise under heat stress with carbohydrate or water intake. *Aviat Space Environ Med*, 76(8), 726-732.
81. Lorraine-Lichtenstein, E., Albert, J., & Hjelmqvist, H. (2008). Water is a dangerous poison. Two cases of hyponatremia associated with spinning and extensive fluid intake. *Lakartidningen*, 105(22), 1650-1652.
82. Luque Azcona, E. (2005). Producción de cerveza en América colonial: Primeras tentativas de Alfonso Herrera en el valle de México. *Asociación Española de Americanistas. Estudios sobre América siglos XVI-XX*. Sevilla.
83. Mackinnon, L. T. (1994). Current challenges and future expectations in exercise immunology: back to the future. *Med Sci Sports Exerc*, 26(2), 191-194.
84. Mackinnon, L. T. (1997). Immunity in athletes. *Int J Sports Med*, 18 Suppl 1, S62-68.
85. Maresh, C. M., Gabaree-Boulant, C. L., Armstrong, L. E., Judelson, D. A., Hoffman, J. R., Castellani, J. W., et al. (2004). Effect of hydration status on thirst, drinking, and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 97(1), 39-44.
86. Maresh, C. M., Whittlesey, M. J., Armstrong, L. E., Yamamoto, L. M., Judelson, D. A., Fish, K. E., et al. (2006). Effect of hydration state on testosterone and cortisol responses to training-intensity exercise in collegiate runners. *Int J Sports Med*, 27(10), 765-770.
87. Marfell-Jones, M., Olds, T., Stewart, A. and Carter, L. (2006). International standards for anthropometric assessment. ISAK: Potchefstroom, South Africa.
88. Marmot, M. G., Rose, G., Shipley, M. J., & Thomas, B. J. (1981). Alcohol and mortality: a U-shaped curve. *Lancet*, 1(8220 Pt 1), 580-583.
89. Maughan, R. J., & Leiper, J. B. (1999). Limitations to fluid replacement during exercise. *Can J Appl Physiol*, 24(2), 173-187.

90. Maughan, R. J., Merson, S. J., Broad, N. P., & Shirreffs, S. M. (2004). Fluid and electrolyte intake and loss in elite soccer players during training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14(3), 333-346.
91. Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (1997). Recovery from prolonged exercise: restoration of water and electrolyte balance. *J Sports Sci*, 15(3), 297-303.
92. Maughan, R. J., Shirreffs, S. M., Merson, S. J., & Horswill, C. A. (2005). Fluid and electrolyte balance in elite male football (soccer) players training in a cool environment. *J Sports Sci*, 23(1), 73-79.
93. Maughan, R. J., Shirreffs, S. M., & Watson, P. (2007). Exercise, heat, hydration and the brain. *J Am Coll Nutr*, 26(5 Suppl), 604S-612S.
94. Mennen, L. I., Balkau, B., Vol, S., Caces, E., & Eschwege, E. (1999). Fibrinogen: a possible link between alcohol consumption and cardiovascular disease? DESIR Study Group. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 19(4), 887-892.
95. Mitchell, J. W., Nadel, E. R., & Stolwijk, J. A. (1972). Respiratory weight losses during exercise. *J Appl Physiol*, 32(4), 474-476.
96. Montain, S. J. (2008). Hydration recommendations for sport 2008. *Curr Sports Med Rep*, 7(4), 187-192.
97. Morimoto, T. (2001). Heat loss mechanisms. in (Eds) C. M. Blatteis. *Physiology and Pathophysiology of temperature regulation*. World Scientific, London, 80 – 89.
98. Morris, J. G., Nevill, M. E., Thompson, D., Collie, J., & Williams, C. (2003). The influence of a 6.5% carbohydrate-electrolyte solution on performance of prolonged intermittent high-intensity running at 30 degrees C. *J Sports Sci*, 21(5), 371-381.
99. Moshage, H. J., Roelofs, H. M., van Pelt, J. F., Hazenberg, B. P., van Leeuwen, M. A., Limburg, P. C., et al. (1988). The effect of interleukin-1, interleukin-6 and its interrelationship on the synthesis of serum amyloid A and C-reactive protein in primary cultures of adult human hepatocytes. *Biochem Biophys Res Commun*, 155(1), 112-117.

100. Mukamal, K. J., Chiuve, S. E., & Rimm, E. B. (2006). Alcohol consumption and risk for coronary heart disease in men with healthy lifestyles. *Arch Intern Med*, 166(19), 2145-2150.
101. Mukamal, K. J., Kennedy, M., Cushman, M., Kuller, L. H., Newman, A. B., Polak, J., et al. (2008). Alcohol consumption and lower extremity arterial disease among older adults: the cardiovascular health study. *Am J Epidemiol*, 167(1), 34-41.
102. Murray, R. (1998). Rehydration strategies--balancing substrate, fluid, and electrolyte provision. *Int J Sports Med*, 19 Suppl 2, S133-135.
103. Nehlsen-Cannarella, S. L. (1998). Cellular responses to moderate and heavy exercise. *Can J Physiol Pharmacol*, 76(5), 485-489.
104. Nielsen, B., Sjogaard, G., Ugelvig, J., Knudsen, B., & Dohlmann, B. (1986). Fluid balance in exercise dehydration and rehydration with different glucose-electrolyte drinks. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 55(3), 318-325.
105. Nielsen, H. B., & Pedersen, B. K. (1997). Lymphocyte proliferation in response to exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(5), 375-379.
106. Nieman, D. C. (1997a). Exercise immunology: practical applications. *Int J Sports Med*, 18 Suppl 1, S91-100.
107. Nieman, D. C. (1997b). Immune response to heavy exertion. *J Appl Physiol*, 82(5), 1385-1394.
108. Nieman, D. C. (1997c). Risk of Upper Respiratory Tract Infection in Athletes: An Epidemiologic and Immunologic Perspective. *J Athl Train*, 32(4), 344-349.
109. Nieman, D. C. (1998a). Exercise and resistance to infection. *Can J Physiol Pharmacol*, 76(5), 573-580.
110. Nieman, D. C. (1998b). Exercise immunology: integration and regulation. *Int J Sports Med*, 19 Suppl 3, S171.

111. Nieman, D. C., Brendle, D., Henson, D. A., Suttles, J., Cook, V. D., Warren, B. J., et al. (1995). Immune function in athletes versus nonathletes. *Int J Sports Med*, 16(5), 329-333.
112. Nieman, D. C., & Nehlsen-Cannarella, S. L. (1991). The effects of acute and chronic exercise of immunoglobulins. *Sports Med*, 11(3), 183-201.
113. Nieman, D. C., & Nehlsen-Cannarella, S. L. (1994). The immune response to exercise. *Semin Hematol*, 31(2), 166-179.
114. Nieman, D. C., & Pedersen, B. K. (1999). Exercise and immune function. Recent developments. *Sports Med*, 27(2), 73-80.
115. Noakes, T. D. (2006). Sports drinks: prevention of "voluntary dehydration" and development of exercise-associated hyponatremia. *Med Sci Sports Exerc*, 38(1), 193.
116. Nose, H., Mack, G. W., Shi, X. R., & Nadel, E. R. (1988a). Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J Appl Physiol*, 65(1), 325-331.
117. Nose, H., Mack, G. W., Shi, X. R., & Nadel, E. R. (1988b). Shift in body fluid compartments after dehydration in humans. *J Appl Physiol*, 65(1), 318-324.
118. O'Brien, C. P., & Lyons, F. (2000). Alcohol and the athlete. *Sports Med*, 29(5), 295-300.
119. O'Keefe, J. H., Bybee, K. A., & Lavie, C. J. (2007). Alcohol and cardiovascular health: the razor-sharp double-edged sword. *J Am Coll Cardiol*, 50(11), 1009-1014.
120. O'Keefe, J. H., Gheewala, N. M., & O'Keefe, J. O. (2008). Dietary strategies for improving post-prandial glucose, lipids, inflammation, and cardiovascular health. *J Am Coll Cardiol*, 51(3), 249-255.
121. Olds, T. & Norton, K. (2000). Lifesize software. University of Australia. Human Kinetics Publishers, Inc.

122. Ortega Porcel, F. B., Ruiz Ruiz, J., Castillo Garzon, M. J., & Gutierrez Sainz, A. (2004). Hyponatremia in ultraendurance exercises. Effects on health and performance. *Arch Latinoam Nutr*, 54(2), 155-164.
123. Ortega, R. M., Requejo, A. M., Sanchez-Muniz, F. J., Quintas, M. E., Sanchez-Quiles, B., Andres, P., et al. (1997). Concern about nutrition and its relation to the food habits of a group of young university students from Madrid (Spain). *Z Ernahrungswiss*, 36(1), 16-22.
124. Palacios Gil-Antuñano, N., Franco Bonafonte, L., Manonelles Marqueta, P., Manuz González, B., & Villegas García, J. A. (2008). Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. Documento de consenso de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte*, 25 (16), 245-258.
125. Passe, D. H., Horn, M., & Murray, R. (1997). The effects of beverage carbonation on sensory responses and voluntary fluid intake following exercise. *Int J Sport Nutr*, 7(4), 286-297.
126. Pedersen, B. K., Bruunsgaard, H., Jensen, M., Toft, A. D., Hansen, H., & Ostrowski, K. (1999). Exercise and the immune system--influence of nutrition and ageing. *J Sci Med Sport*, 2(3), 234-252.
127. Pedersen, B. K., & Hoffman-Goetz, L. (2005). Exercise as a stress model and the interplay between the hypothalamus-pituitary-adrenal and the hypothalamus-pituitary-thyroid axes. *Horm Metab Res* 37, 577-584.
128. Pedersen, B. K., Kappel, M., Klokke, M., Nielsen, H. B., & Secher, N. H. (1994). The immune system during exposure to extreme physiologic conditions. *Int J Sports Med*, 15 Suppl 3, S116-121.
129. Pedersen, B. K., & Nieman, D. C. (1998). Exercise immunology: integration and regulation. *Immunol Today*, 19(5), 204-206.
130. Pedersen, B. K., Ostrowski, K., Rohde, T., & Bruunsgaard, H. (1998). Nutrition, exercise and the immune system. *Proc Nutr Soc*, 57(1), 43-47.

131. Pedersen, B. K., Rohde, T., & Zacho, M. (1996). Immunity in athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 36(4), 236-245.
132. Pedersen, J. O., Heitmann, B. L., Schnohr, P., & Gronbaek, M. (2008). The combined influence of leisure-time physical activity and weekly alcohol intake on fatal ischaemic heart disease and all-cause mortality. *Eur Heart J*, 29 (2), 204-212.
133. Peters-Futre, E. M. (1997). Vitamin C, neutrophil function, and upper respiratory tract infection risk in distance runners: the missing link. *Exerc Immunol Rev*, 3, 32-52.
134. Pialoux, V., Mischler, I., Mounier, R., Gachon, P., Ritz, P., Coudert, J., et al. (2004). Effect of equilibrated hydration changes on total body water estimates by bioelectrical impedance analysis. *Br J Nutr*, 91(1), 153-159.
135. Pihkanen, T. A. (1957). Neurological and physiological studies on distilled and brewed beverages. *Ann Med Exp Biol Fenn*, 35(Suppl 9), 1-152.
136. Pitsavos, C., Panagiotakos, D. B., Kontogianni, M. D., Chrysohoou, C., Chloptsios, Y., Zampelas, A., et al. (2004). The J-shape association of ethanol intake with total homocysteine concentrations: the ATTICA study. *Nutr Metab (Lond)*, 1(1), 9.
137. Presland, J. D., Dowson, M. N., & Cairns, S. P. (2005). Changes of motor drive, cortical arousal and perceived exertion following prolonged cycling to exhaustion. *Eur J Appl Physiol*, 95(1), 42-51.
138. Pyne, D. B., & Gleeson, M. (1998). Effects of intensive exercise training on immunity in athletes. *Int J Sports Med*, 19 Suppl 3, S183-191.
139. Romeo Marin Javier (2006). Evaluación del consumo moderado de cerveza sobre el estado nutricional y la inmunocompetencia en adultos sanos. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia.
140. Romeo, J., Gonzalez-Gross, M., Warnberg, J., Diaz, L. E., & Marcos, A. (2007). Effects of moderate beer consumption on blood lipid profile in healthy Spanish adults. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 18 (5), 365-372.

141. Romeo, J., Warnberg, J., Diaz, L. E., Gonzalez-Gross, M., & Marcos, A. (2007). Effects of moderate beer consumption on first-line immunity of healthy adults. *J Physiol Biochem*, 63(2), 153-159.
142. Romeo, J., Warnberg, J., Nova, E., Diaz, L. E., Gomez-Martinez, S., & Marcos, A. (2007). Moderate alcohol consumption and the immune system: a review. *Br J Nutr*, 98 Suppl 1, S111-115.
143. Romeo, J., Warnberg, J., Nova, E., Diaz, L. E., Gonzalez-Gross, M., & Marcos, A. (2007). Changes in the immune system after moderate beer consumption. *Ann Nutr Metab*, 51(4), 359-366.
144. Ruidavets, J. B., Ducimetiere, P., Arveiler, D., Amouyel, P., Bingham, A., Wagner, A., et al. (2002). Types of alcoholic beverages and blood lipids in a French population. *J Epidemiol Community Health*, 56(1), 24-28.
145. Saito, M., Ishimitsu, T., Minami, J., Ono, H., Ohrui, M., & Matsuoka, H. (2003). Relations of plasma high-sensitivity C-reactive protein to traditional cardiovascular risk factors. *Atherosclerosis*, 167(1), 73-79.
146. Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, 39(2), 377-390.
147. Sawka, M. N., & Coyle, E. F. (1999). Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev*, 27, 167-218.
148. Sawka, M. N., Wenger, C. B., & Pandolf, K. B. (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise - heat stress and heat acclimation. In: *Handbook of Physiology, Section 4: Environmental Physiology*, C.M. Blatteis and M.J. Fregly. New York: Oxford University Press for the American Physiological Society, 157-186.
149. Sawka, M. N., & Young, A. J. (2005). Physiological Systems and Their Responses to Conditions of Heat and Cold. In: *ACSM's Advanced Exercise*

- Physiology, C.M. Tipton, M.N. Sawka, C.A. Tate, and R.L. Terjung. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, 535-563.
150. Schroder, H., Masabeu, A., Marti, M. J., Cols, M., Lisbona, J. M., Romagosa, C., et al. (2007). Myocardial infarction and alcohol consumption: a population-based case-control study. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 17(8), 609-615.
151. Seifert, J., Harmon, J., & DeClercq, P. (2006). Protein added to a sports drink improves fluid retention. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 16(4), 420-429.
152. Sendra, J. M., & Carbonell, J. V. (1999). Evaluación de las propiedades nutritivas, funcionales y sanitarias de la cerveza, en comparación con otras bebidas. Madrid: Centro de Información Cerveza y Salud, Edición I.
153. Severs, Y., Brenner, I., Shek, P. N., & Shephard, R. J. (1996). Effects of heat and intermittent exercise on leukocyte and sub-population cell counts. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 74(3), 234-245.
154. Sharma, V. M., Sridharan, K., Pichan, G., & Panwar, M. R. (1986). Influence of heat-stress induced dehydration on mental functions. *Ergonomics*, 29(6), 791-799.
155. Sharp, N. C., & Koutedakis, Y. (1992). Sport and the overtraining syndrome: immunological aspects. *Br Med Bull*, 48(3), 518-533.
156. Shepard, R. J., & Shek, P. N. (1996). Impact of physical activity and sport on the immune system. *Rev Environ Health*, 11(3), 133-147.
157. Shephard, R. J., & Shek, P. N. (1994). Potential impact of physical activity and sport on the immune system--a brief review. *Br J Sports Med*, 28(4), 247-255.
158. Shephard, R. J., & Shek, P. N. (1998). Acute and chronic over-exertion: do depressed immune responses provide useful markers? *Int J Sports Med*, 19(3), 159-171.
159. Shi, X., Bartoli, W., Horn, M., & Murray, R. (2000). Gastric emptying of cold beverages in humans: effect of transportable carbohydrates. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 10(4), 394-403.

160. Shirreffs, S. M. (2000). Markers of hydration status. *J Sports Med Phys Fitness*, 40(1), 80-84.
161. Shirreffs, S. M. (2003). Markers of hydration status. *Eur J Clin Nutr*, 57 Suppl 2, S6-9.
162. Shirreffs, S. M. (2005). The importance of good hydration for work and exercise performance. *Nutr Rev*, 63(6 Pt 2), S14-21.
163. Shirreffs, S. M., Aragon-Vargas, L. F., Keil, M., Love, T. D., & Phillips, S. (2007). Rehydration after exercise in the heat: a comparison of 4 commonly used drinks. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 17(3), 244-258.
164. Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (1997). Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: effects of alcohol consumption. *J Appl Physiol*, 83(4), 1152-1158.
165. Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (1998). Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 30(11), 1598-1602.
166. Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (2000). Rehydration and recovery of fluid balance after exercise. *Exerc Sport Sci Rev*, 28(1), 27-32.
167. Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (2006). The effect of alcohol on athletic performance. *Curr Sports Med Rep*, 5(4), 192-196.
168. Shirreffs, S. M., Taylor, A. J., Leiper, J. B., & Maughan, R. J. (1996). Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc*, 28(10), 1260-1271.
169. Sierksma, A., van der Gaag, M. S., Kluft, C., & Hendriks, H. F. (2002). Moderate alcohol consumption reduces plasma C-reactive protein and fibrinogen levels; a randomized, diet-controlled intervention study. *Eur J Clin Nutr*, 56(11), 1130-1136.

170. Sierksma, A., van der Gaag, M. S., van Tol, A., James, R. W., & Hendriks, H. F. (2002). Kinetics of HDL cholesterol and paraoxonase activity in moderate alcohol consumers. *Alcohol Clin Exp Res*, 26(9), 1430-1435.
171. Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC) (2004). Guía de alimentación saludable; Pirámide de la Alimentación saludable. Madrid: Everest.
172. Sorberón, M., Charaja, A., Agüero, Y., Oriondo, R., Sandoval, M., & Núñez, M. (2004). Estudio de los niveles plasmáticos de Homocisteína, ácido fólico y vitamina B-12 en una población limeña de jóvenes adultos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 65(2), 89-96.
173. Stachenfeld, N. S., Gleim, G. W., Zabetakis, P. M., & Nicholas, J. A. (1996). Fluid balance and renal response following dehydrating exercise in well-trained men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(5-6), 468-477.
174. Stachenfeld, N. S., Splenser, A. E., Calzone, W. L., Taylor, M. P., & Keefe, D. L. (2001). Sex differences in osmotic regulation of AVP and renal sodium handling. *J Appl Physiol*, 91(4), 1893-1901.
175. Starkie, R. L., Hargreaves, M., Rolland, J., & Febbraio, M. A. (2005). Heat stress, cytokines, and the immune response to exercise. *Brain Behav Immun*, 19(5), 404-412.
176. Stewart, L. K., Flynn, M. G., Campbell, W. W., Craig, B. A., Robinson, J. P., Timmerman, K. L., et al. (2007). The influence of exercise training on inflammatory cytokines and C-reactive protein. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10), 1714-1719.
177. Sulzer, N. U., Schwellnus, M. P., & Noakes, T. D. (2005). Serum electrolytes in Ironman triathletes with exercise-associated muscle cramping. *Med Sci Sports Exerc*, 37(7), 1081-1085.
178. Suter, P. M., & Schutz, Y. (2008). The effect of exercise, alcohol or both combined on health and physical performance. *Int J Obes (Lond)*, 32 Suppl 6, S48-52.

179. Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol (Amst)*, 112(3), 297-324.
180. Tomporowski, P. D., Beasman, K., Ganio, M. S., & Cureton, K. (2007). Effects of dehydration and fluid ingestion on cognition. *Int J Sports Med*, 28(10), 891-896.
181. Truelsen, T., Gronbaek, M., Schnohr, P., & Boysen, G. (1998). Intake of beer, wine, and spirits and risk of stroke: the Copenhagen city heart study. *Stroke*, 29(12), 2467-2472.
182. Ubbink, J. B., Fehily, A. M., Pickering, J., Elwood, P. C., & Vermaak, W. J. (1998). Homocysteine and ischaemic heart disease in the Caerphilly cohort. *Atherosclerosis*, 140(2), 349-356.
183. Verde, T. J., Thomas, S. G., Moore, R. W., Shek, P., & Shephard, R. J. (1992). Immune responses and increased training of the elite athlete. *J Appl Physiol*, 73(4), 1494-1499.
184. Wagner, L. (2001). A recipe for nutrition and hydration. *Provider*, 27(1), 20-28, 30-21.
185. Wakabayashi, I. (2008). Relationships among alcohol drinking, blood pressure and serum cholesterol in healthy young women. *Clin Chim Acta*, 388(1-2), 192-195.
186. Wald, N., & Leshem, M. (2003). Salt conditions a flavor preference or aversion after exercise depending on NaCl dose and sweat loss. *Appetite*, 40(3), 277-284.
187. Walsh, N. P., & Whitham, M. (2006). Exercising in environmental extremes: a greater threat to immune function? *Sports Med*, 36(11), 941-976.
188. Wannamethee, S. G., & Shaper, A. G. (1999). Type of alcoholic drink and risk of major coronary heart disease events and all-cause mortality. *Am J Public Health*, 89(5), 685-690.
189. Watten, R. G. (1995). Sports, physical exercise and use of alcohol. *Scand J Med Sci Sports*, 5(6), 364-368.

190. Wilk, B., & Bar-Or, O. (1996). Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J Appl Physiol*, 80(4), 1112-1117.
191. Wilk, B., Rivera-Brown, A. M., & Bar-Or, O. (2007). Voluntary drinking and hydration in non-acclimatized girls exercising in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 101(6), 727-734.
192. Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). En: *Fisiología del Esfuerzo y del Ejercicio*. Ed. Paidotribo, 5ª Edición.
193. Wilmore, J. H., Morton, A. R., Gilbey, H. J., & Wood, R. J. (1998). Role of taste preference on fluid intake during and after 90 min of running at 60% of VO₂max in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 30(4), 587-595.
194. Williams, M. B., Raven, P. B., Fogt, D. L., & Ivy, J. L. (2003). Effects of recovery beverages on glycogen restoration and endurance exercise performance. *J Strength Cond Res*, 17(1), 12-19.
195. Williams, M. H. (1972). Effect of small and moderate doses of alcohol on exercise heart rate and oxygen consumption. *Res Q*, 43(1), 94-104.
196. Wissler, E. H. (1988). A Review of human thermal models. In E. Ergogenics (Ed.), Mekjavic, I.B., Banister E.W and Morrision, JB (Vol. Chapter 14, pp. 267-285). Philadelphia, New York and London: Publisher by Taylor and Francis.
197. Wolf, A., Bray, G. A., & Popkin, B. M. (2008). A short history of beverages and how our body treats them. *Obes Rev*, 9(2), 151-164.
198. Wong, S. H., Williams, C., Simpson, M., & Ogaki, T. (1998). Influence of fluid intake pattern on short-term recovery from prolonged, submaximal running and subsequent exercise capacity. *J Sports Sci*, 16(2), 143-152.
199. Woods, J. A., Davis, J. M., Smith, J. A., & Nieman, D. C. (1999). Exercise and cellular innate immune function. *Med Sci Sports Exerc*, 31(1), 57-66.

200. Yano, K., Rhoads, G. G., & Kagan, A. (1977). Coffee, alcohol and risk of coronary heart disease among Japanese men living in Hawaii. *N Engl J Med*, 297(8), 405-409.
201. Yoon, Y. S., Oh, S. W., Baik, H. W., Park, H. S., & Kim, W. Y. (2004). Alcohol consumption and the metabolic syndrome in Korean adults: the 1998 Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *Am J Clin Nutr*, 80(1), 217-224.
202. Zaryski, C., & Smith, D. J. (2005). Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Curr Sports Med Rep*, 4(3), 165-170.
203. Zetou, E., Giatsis, G., Mountaki, F., & Komninakidou, A. (2007). Body weight changes and voluntary fluid intakes of beach volleyball players during an official tournament. *J Sci Med Sport*, 11(2), 139-145.

ANEXOS

PROYECTO DE INVESTIGACION Y AYUDAS

La presente memoria de Tesis Doctoral está basada en los datos derivados del proyecto “Utilidad de la cerveza en la recuperación del metabolismo mineral, hormonal e inmunológico de deportistas tras realizar un esfuerzo físico” (nº C-2534-00).

Dicho proyecto ha sido financiado por las ayudas de investigación convocadas anualmente por el Centro de Información Cerveza y Salud, en su convocatoria de 2005.

Mónica Sofía Cervantes-Borunda ha sido apoyada en la realización de esta Tesis Doctoral por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Facultad de Educación Física y Ciencias del Deporte. El programa de doctorado se operó por el Convenio existente entre la UGR-UACH a través de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte del Departamento de Educación Física y Deportiva. El tercer ciclo se realizó con el grupo EFFECTS-262, en el Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina en siendo responsables el Dr. Manuel Castillo Garzón y el Dr. Ángel Gutiérrez Sainz. Se recibieron ayudas de los fondos FEDER para el grupo de investigación EFFECTS-262, de la Facultad de Medicina, Universidad de Granada (Acciones Complementarias DEP2007-29933-E).

PRODUCCIÓN DERIVADA DEL PROYECTO

I. MONOGRAFÍAS.

1. Manuel J. Castillo, Mónica Cervantes y David Jiménez-Pavón. Monografía científica: Cerveza: nutrición, salud y cultura. Capítulo 6: Efectividad de la cerveza para reponer las pérdidas hídricas ocasionadas por el ejercicio. III Simposio Internacional de la cerveza. Ed. Centro de Información Cerveza y Salud (CICS). Madrid 2010.
2. David Jiménez Pavón, Mónica Cervantes, Manuel J. Castillo, Javier Romeo y Ascensión Marcos. Libro: Idoneidad de la cerveza en la recuperación del metabolismo de los deportistas. Ed. Centro de Información Cerveza y Salud (CICS). Madrid 2009. ISBN 978-84-613-2592-4.

II. ARTÍCULOS.

1. David Jiménez-Pavón, Javier Romeo, Mónica Cervantes-Borunda, Francisco B. Ortega, Jonatan R. Ruiz, Vanesa España-Romero, Ascensión Marcos, Manuel J. Castillo. Effects of a Running Bout in the Heat on Cognitive Performance. JESF June 2011. Vol 9(1). Accepted 2010-042.
2. J. Romeo, D. Jiménez-Pavón, M. Cervantes-Borunda, J. Wörnberg, S. Gómez-Martínez, M.J. Castillo and A. Marcos. Immunological changes after a single bout of moderate-intensity exercise in a hot environment. J Physiol Biochem, 2008 64(3):197-204.

III. COMUNICACIONES ORALES Y POSTERS EN CONGRESOS (Con publicación de Abstracts).

1. Cervantes-Borunda M., Jiménez-Pavón D., Romeo J., Cervantes-Hernández N., Marcos A., Castillo MJ. *Communication*: Chances in skinfolds and weight induced by a dehydration state in exercise in hot environment. ISAK 2010 World Conference. Estoril Portugal. Nov. 11-12. *Publicado en*: Book of Abstracts. p. 41-42. ISBN:
2. J. Romeo, D. Jiménez-Pavón, M. Cervantes-Borunda, M.J. Castillo, L.E. Díaz y A. Marcos. *Comunicación*: Efecto del consumo de cerveza sobre la respuesta inflamatoria e inmunológica en la recuperación de deportistas tras realizar un esfuerzo físico en condiciones controladas. II Congreso FESNAD. Barcelona, España. Marzo 3-5, 2010. *Publicado en*: Nutr Hosp 25(1):162-163.
3. Jiménez-Pavón D, Romeo J, Cervantes-Borunda M, Artero EG, España Romero V, González-Gross M, Marcos A, Castillo MJ. *Communication*: Effects of beer intake on rehydration parameters compared with water alone. XXX FIMS World Congress of Sports Medicine (FIMS and FEMEDE). Barcelona, Spain. November 18th-23th, 2008. *Publicado en*: Archivos de Medicina del Deporte 2008; 128 (25): 478.
4. D. Jiménez-Pavón, J. Romeo, M. Cervantes-Borunda, J. Ruiz Ruiz, V. España Romero, M. González-Gross, A. Marcos, M.J. Castillo. *Communication*: Rehydration after exercise under hot environment: effects of beer vs water. 13th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS). Estoril, Portugal. July 9th-12th, 2008. *Publicado en*: Book of Abstracts. ISBN: 978-972-735-156-5.

5. Jiménez-Pavón D, Romeo J, Cervantes-Borunda M, Ortega FB, Artero EG, González-Gross M, Marcos A, Castillo MJ. *Comunicación*: Effect of beer on endocrine/metabolic parameters following exercise in a hot environment. 6th International Conference on Nutrition and Fitness. Athens, Greece, 15th -17th May 2008. *Publicado en*: Book of Abstracts: p.31.
6. J. Romeo, D. Jiménez-Pavón, M. Cervantes-Borunda, J. Wärnberg, L. E. Díaz and A. Marcos. *Comunicación*: Immunological changes after dehydration resulting from physical effort in a hot environment. 1st International Immunonutrition Workshop, Valencia, Spain 3–5 October 2007. *Publicado en*: Proceedings of the Nutrition Society (2008) Vol 67.
7. Cervantes-Borunda M, Jiménez-Pavón D, Romeo J, Ortega F.B, Artero E.G, González-Gross M, Marcos A, Castillo M.J . Rehydration after exercise in hot environment: effects of beer compared to water. International course: symposium HELENA: Promoting a Healthy European Lifestyle through Exercise and Nutrition in Adolescents. Granada, April 20-22, 2008. *Publicado en*: Book of abstracts: p. 63 ISBN: 978-84-96876-40-8.
8. Jiménez-Pavón D, Cervantes-Borunda M, Romeo J, España-Romero V, Artero EG, Ortega FB, Ruiz JR, González-Gross M, Marcos A, Gutiérrez A, Castillo MJ. *Comunicación*: “Ejercicio, deshidratación y rehidratación: efecto sobre la capacidad perceptivo-motora”. XII Congreso Nacional de la Federación Española de Medicina del Deporte. Sevilla, 24-27 octubre 2007. *Publicado en*: Archivos de Medicina del Deporte 2007; 121 (24): 383.
9. Jiménez-Pavón D, Cervantes-Borunda M, Romeo J, Ortega FB, Ruiz JR, García E, Gonzalez-Gross M, Castillo MJ. *Comunicación*: Exercise in hot environment: effects on hydration state”. 12th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSC). Jyväskylä, Finlandia, 11-14 Julio 2007. *Publicado en*: Book of Abstracts. ISBN: 978-951-790-242-7.

IV. EVENTOS ORGANIZADOS:

1. Curso Simposio sobre Cerveza, Deporte y Salud (B002607JA). Facultad de Medicina, Universidad de Granada, 29 mayo 2007.