





Adaptaciones
al clima y al horario
de Pekín'08

Adaptaciones al clima y al horario de Pekín'08

AUTORES

Esteban Gorostiaga Ayestarán

Miembro de la Comisión Médica del COE
Centro de Estudios Investigación y Medicina del Deporte de Navarra

Ramón Olivé Vilás

Miembro de la Comisión Médica del COE
Consortio Sanitario de Terrassa (Barcelona)
C.A.R.-Sant Cugat

EDITA

Comité Olímpico Español



DISEÑO

Asís Bastida

IMPRESIÓN

Imagraf

D.L. NA - X.XXX/2007



Nuevamente la Comisión Médica del Comité Olímpico Español, compuesta por un espléndido plantel de doctores y liderada por el doctor Silvio Rubio, edita un extenso y documentado estudio, realizado por los Drs. Esteban Gorostiaga y Ramón Olivé , acerca de las condiciones medioambientales y horarias que se van a encontrar los deportistas en los Juegos Olímpicos de Pekín.

Alguien puede caer en la equivocada tentación de no conceder a este asunto la verdadera importancia del análisis. Y eso solo se puede hacer desde la frivolidad y el desconocimiento del deporte de alta competición, donde hasta el más mínimo detalle puede hacer ganar o perder una medalla.

Los componentes de la Comisión Médica, que ya han dado sobradas pruebas de su enorme capacidad y rigurosidad en sus estudios, vuelven a plantear con esta monografía la trascendencia de conocer de antemano de qué manera puede influir en el rendimiento del deportista aspectos tan vitales como la temperatura, la humedad relativa y la diferencia horaria.

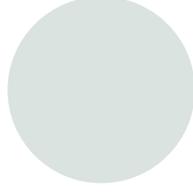
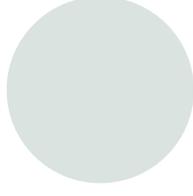
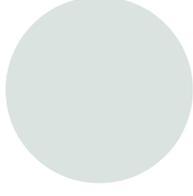
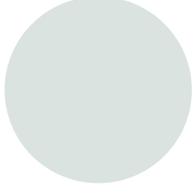
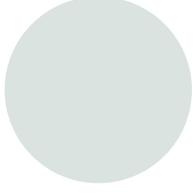
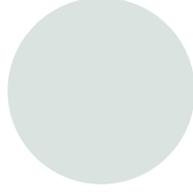
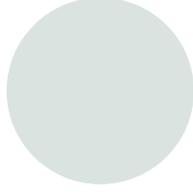
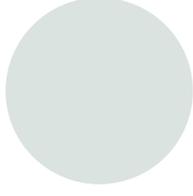
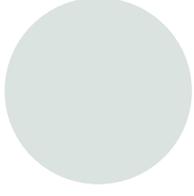
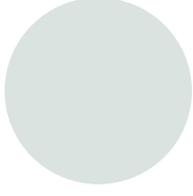
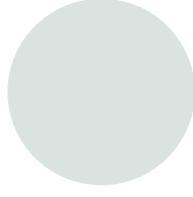
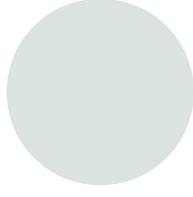
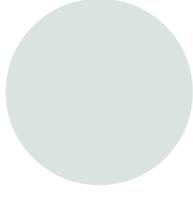
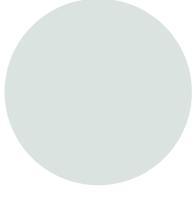
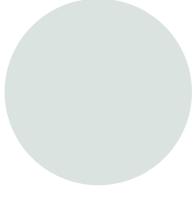
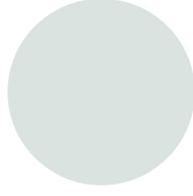
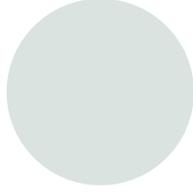
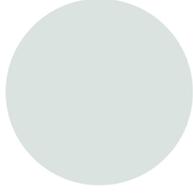
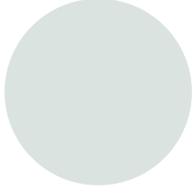
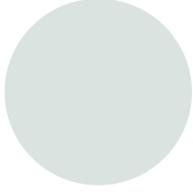
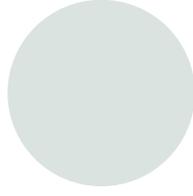
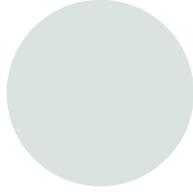
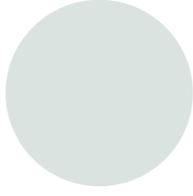
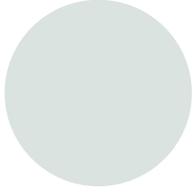
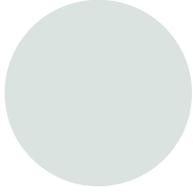
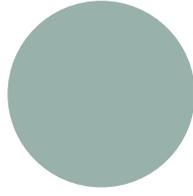
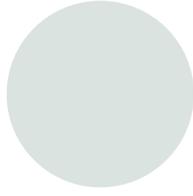
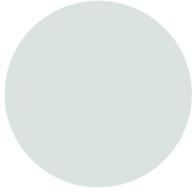
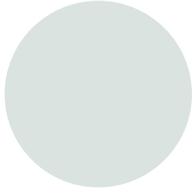
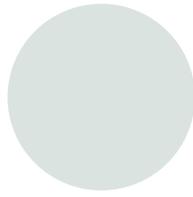
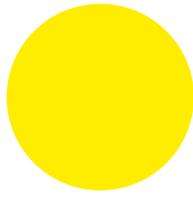
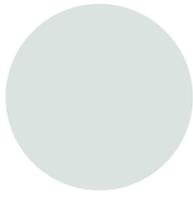
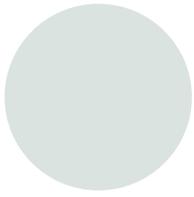
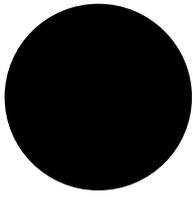
Resulta ilustrativo comprobar cómo el documento hace un estudio comparativo de las condiciones medioambientales que se dieron durante la celebración de los Juegos de Barcelona'92, Atlanta'96 y Atenas'04, aportando conclusiones muy interesantes.

Además los autores del estudio han tenido el cuidado de presentarlo en este documento de tal manera que, sin perder un ápice de su rigor científico y aplicando la metodología de estudio más adecuada, pueda ser comprensible para todos, sean o no expertos en la materia.

Por todo ello recomiendo sinceramente su lectura por cuanto tiene de interés. Y solo me queda, una vez más felicitar a sus autores, y a la Comisión Médica por el impagable trabajo que desarrollan a favor del deporte español.

Alejandro Blanco

Presidente Comité Olímpico Español





INDICE

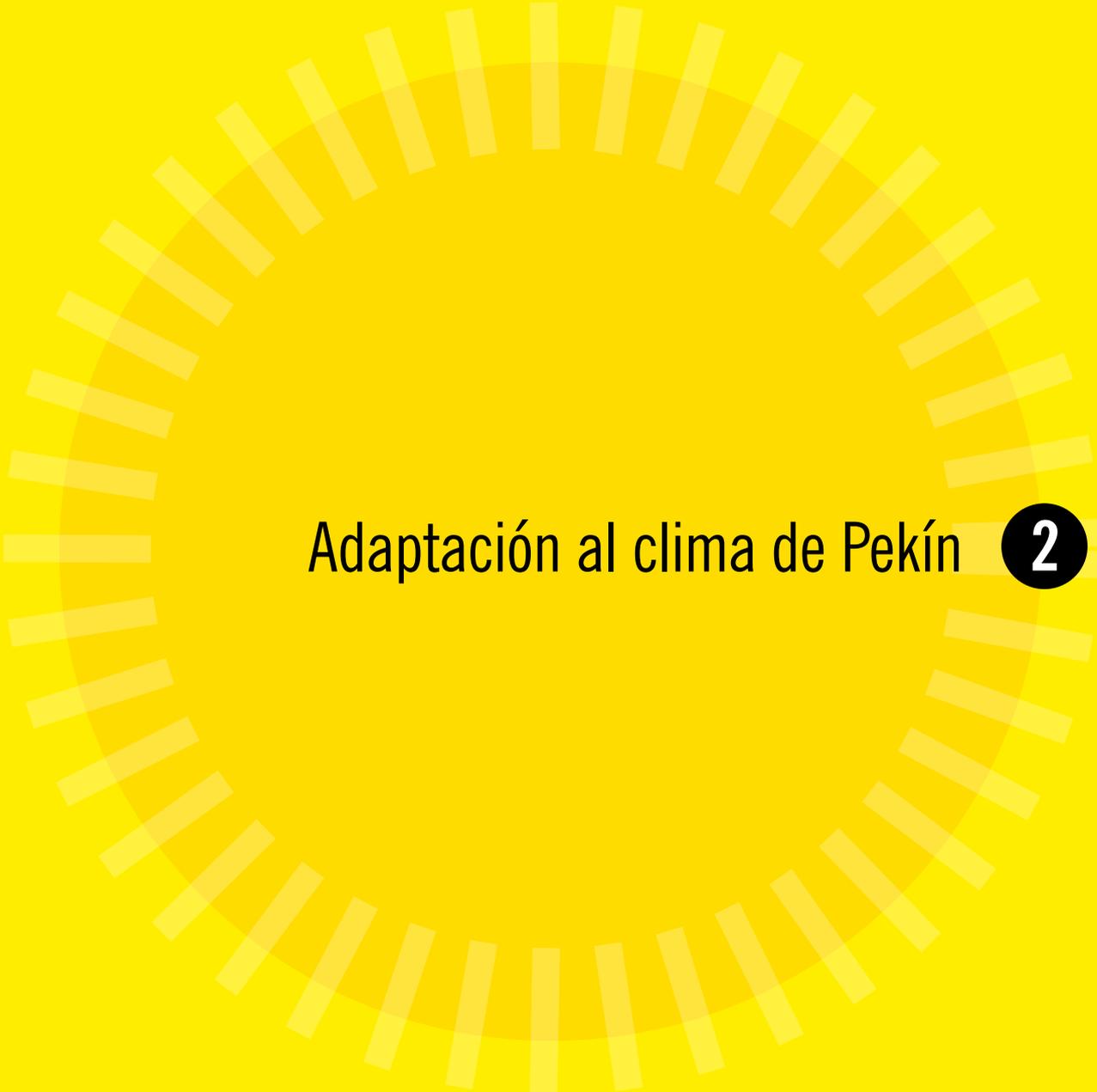
- 7 ● **Objetivos del informe**
- 9 ● **1 Adaptación al clima de Pekín'08**
- 10 ● 1.1 Las condiciones ambientales en Pekín. Consecuencias
- 15 ● 1.2 Efectos del ejercicio en ambiente caluroso sobre el organismo cuando no se ingieren líquidos
- 19 ● 1.3 Recomendaciones dietéticas para el ejercicio en ambiente caluroso
- 29 ● 1.4 Enfriamiento previo al ejercicio en ambiente caluroso
- 32 ● 1.5 Recomendaciones para aclimatarse al ejercicio en ambiente caluroso
- 35 ● 1.6 En resumen
- 40 ● Bibliografía
- 47 ● **2 Adaptación al cambio horario entre España y China**
- 48 ● 2.1 La diferencia horaria con Pekín. Jet lag
- 50 ● 2.2 Ritmos circadianos del ser humano
- 54 ● 2.3 Ritmos circadianos y rendimiento deportivo
- 61 ● 2.4 Efectos del cambio horario sobre el rendimiento deportivo
- 63 ● 2.5 Medidas para reducir los problemas asociados al cambio horario
- 65 ● 2.6 Tratamiento de los síntomas producidos por el cambio horario
- 69 ● Bibliografía

OBJETIVOS DEL INFORME

El objetivo de este trabajo es analizar las necesidades que los deportistas del equipo olímpico español tienen de adaptarse a las condiciones meteorológicas y horarias de las sedes de los Juegos Olímpicos de 2008 en Pekín. También se aportan algunas sugerencias sobre la manera más aconsejable de conseguir dicha adaptación. En primer lugar trataremos los aspectos relacionados con las condiciones climáticas calurosas que, previsiblemente, se darán en Pekín, así como los medios que se recomiendan para adaptarse lo mejor posible a dichas condiciones. En segundo lugar, se explicará la diferencia horaria que existe entre España y Pekín y los medios que se recomiendan para adaptarse lo más rápidamente posible al horario de Pekín.

Con este trabajo se actualizan y amplían los documentos realizados por el Comité Olímpico Español en octubre de 1994 para la preparación de los Juegos Olímpicos de Atlanta'96¹, y en Mayo de 2004 para la preparación de los Juegos Olímpicos de Atenas'2004².





Adaptación al clima de Pekín **2**



1.1 Las condiciones ambientales en Pekín. Consecuencias

● Condiciones ambientales en Pekín

Como es lógico, no se pueden saber con exactitud las condiciones ambientales que pueden darse en Pekín durante la celebración de los Juegos Olímpicos, en agosto de 2008. Sin embargo, el registro de las temperaturas que se han observado en el mes de agosto en los últimos 4 años, realizado por el Servicio Nacional Chino de Meteorología, permite prever las condiciones climáticas que se darán en las principales sedes durante la celebración de los próximos Juegos Olímpicos. Por ejemplo, en el mes de agosto las temperaturas y humedades relativas (HR) medias a las 8 de la mañana suelen ser cercanas a 22-26°C (63-90% HR) en Pekín (Olympic Green) (Figuras 1 y 2) y 22-27°C (79-92% HR) en Qingdao (Figuras 3 y 4). A las 2 de la tarde, los valores medios son cercanos a 27-32°C (46-66% HR) en Pekín (Olympic Green) y 25-29°C (59-88% HR) en Qingdao. Y a las 8 de la tarde, los valores medios son cercanos a 23-29°C (64-85% HR) en Pekín (Olympic Green) y 23-26°C (70-93% HR) en Qingdao. Además, la velocidad media del viento a lo largo del día suele estar comprendida en Pekín (Olympic Green) entre 0.5 y 2 Km/h a las 8 de la mañana, 1 y 3 Km/h a las 2 de la tarde y 0.5 a 2 Km/h a las 8 de la tarde, mientras que en Qingdao suele estar comprendida entre 2 y 4 Km/h a las 8 de la mañana, 3 y 5 Km/h a las 2 de la tarde y 2 a 4 Km/h a las 8 de la tarde.

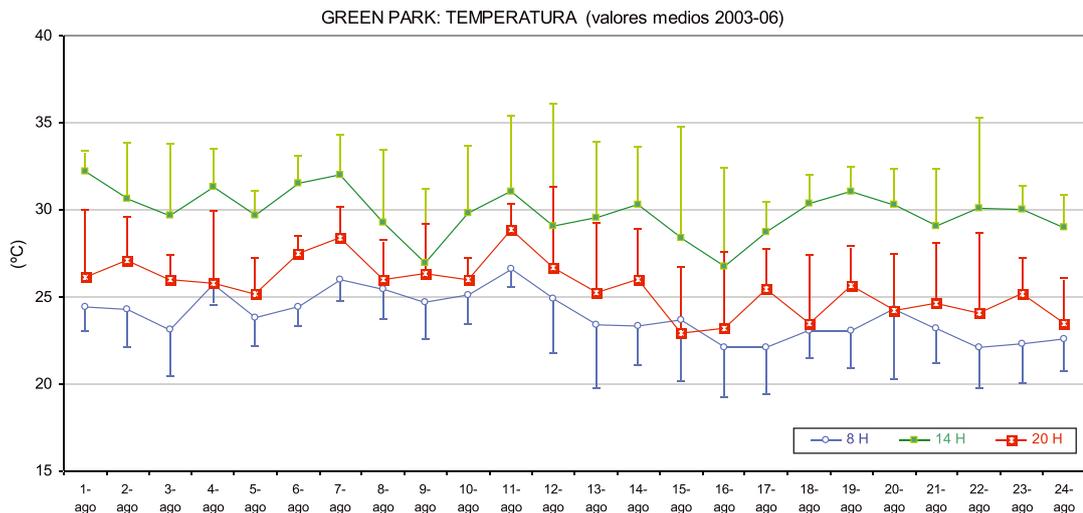


Figura 1. Temperaturas medias (en grados Celsius) y desviaciones estándares que se han registrado en Pekín durante los últimos 4 años, en todos los días del mes de agosto, a las 8 de la mañana (8H), a las 2 de la tarde (14H) y a las 8 de la tarde (20H).

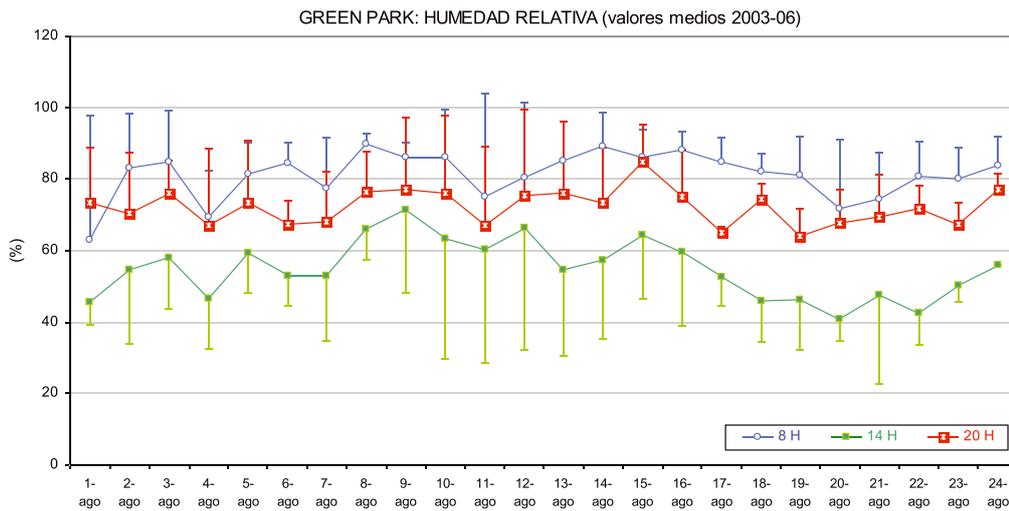


Figura 2. Humedades relativas medias (en porcentaje) y desviaciones estándares que se han registrado en Pekín durante los últimos 4 años, en todos los días del mes de agosto, a las 8 de la mañana (8H), a las 2 de la tarde (14H) y a las 8 de la tarde (20H).

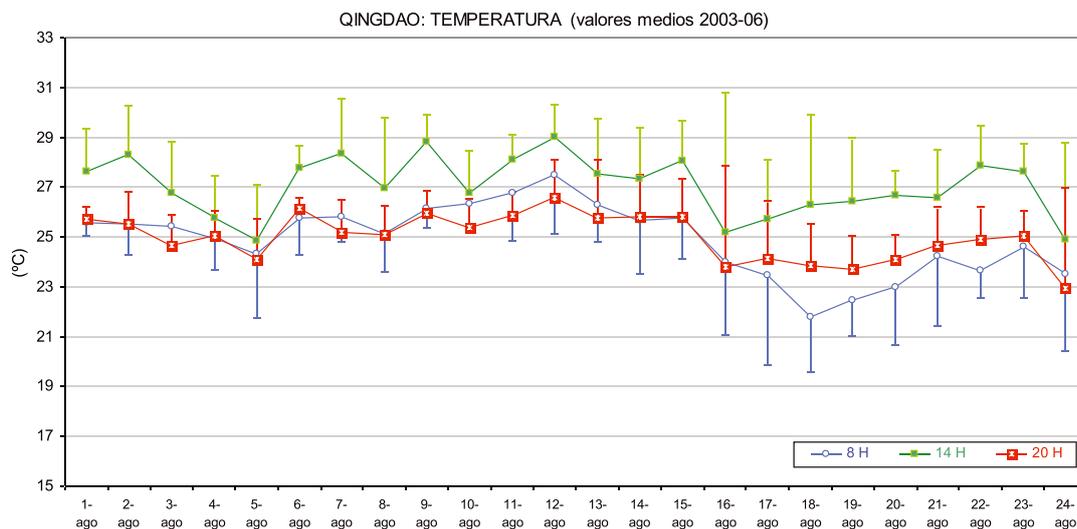


Figura 3. Temperaturas medias (en grados Celsius) y desviaciones estándares que se han registrado en Qingdao durante los últimos 4 años, en todos los días del mes de agosto, a las 8 de la mañana (8H), a las 2 de la tarde (14H) y a las 8 de la tarde (20H).

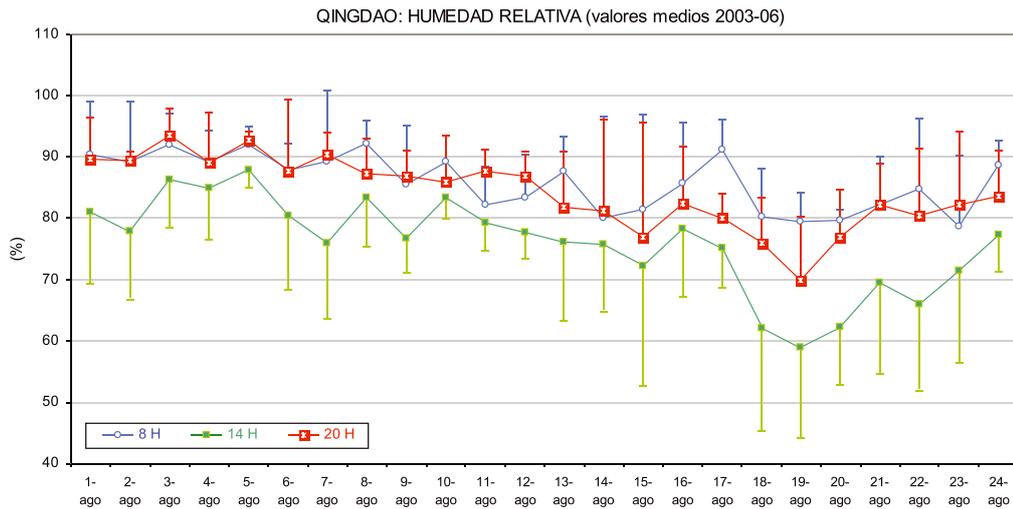


Figura 4. Humedades relativas medias (en porcentaje) y desviaciones estándares que se han registrado en Qingdao durante los últimos 4 años, en todos los días del mes de agosto, a las 8 de la mañana (8H), a las 2 de la tarde (14H) y a las 8 de la tarde (20H).

Conviene conocer no solo los valores medios, sino también los valores extremos de temperatura ambiente. Por ejemplo, los valores mínimos y máximos de temperatura ambiental observados en los cuatro últimos años en el mes de agosto a las 8 de la mañana han estado comprendidos entre 18 y 29°C en Pekín (Olympic Green) y entre 21 y 35°C en Qingdao. A las 2 de la tarde suelen estar comprendidos entre 19 y 38 °C en Pekín (Olympic Green) y entre 17 y 32°C en Qingdao. Y a las 8 de la tarde suelen estar comprendidos entre 19 y 31°C en Pekín (Olympic Green) y entre 18 y 28°C en Qingdao.

En los últimos 4 años ha llovido muy poco en el mes de agosto en Pekín y en Qingdao. Por ejemplo, tanto en Pekín como en Qingdao, durante los primeros 24 días del mes de agosto no llovió en 17 días, llovió muy poco (menos de 0.5 litros por metro cuadrado) en 4 días, y llovió moderadamente (entre 0.5 y 1 litro por metro cuadrado) en 3 días. Como anécdota, señalar que en estos cuatro últimos años, la mayor concentración de días de lluvia que se ha observado en Pekín en el mes de agosto ha sido entre los días 9 al 12 de agosto, que coincide con el inicio de los Juegos Olímpicos.

De dichos datos se desprende que nos vamos a encontrar un ambiente algo menos cálido que el que nos encontramos en Atenas, pero más húmedo, porque la temperatura ambiental no será extremadamente alta, pero la humedad relativa del aire será muy alta. De hecho, las condiciones de temperatura y humedad relativa de Pekín son muy similares a las de Atlanta o a las de Barcelona. Además, la velocidad del viento será escasa. Todo esto nos permite suponer que pueden existir

muchas dificultades para eliminar el calor producido durante el esfuerzo, especialmente cuando se superen los 35°C de temperatura ambiente, o cuando la humedad relativa sea superior al 60%, y que será conveniente que nuestros deportistas se aclimaten a dichas condiciones para poder competir con éxito.

● **Consecuencias de las condiciones climáticas de Pekín sobre el organismo**

Es muy importante conocer si el clima permitirá o no eliminar mucho calor porque cuando se hace ejercicio físico se produce una gran cantidad de calor³, debido a que cerca del 75% de la energía que se libera para producir la contracción muscular se pierde en forma de calor⁴. La mayor parte de ese calor producido por el organismo debe eliminarse para evitar que la temperatura corporal aumente excesivamente hasta hacer peligrar la vida. Por ejemplo, si el organismo no eliminase la mayor parte del calor que produce durante un ejercicio intenso de larga duración, la temperatura del cuerpo aumentaría 1°C cada 5 minutos³. Para evitar que la temperatura corporal aumente por encima de valores incompatibles con la vida (42°C), el organismo dispone de varios mecanismos para perder calor.

El organismo elimina calor por 4 mecanismos^{3,5,6}: 1) por la evaporación del agua del sudor y de la respiración, 2) por conducción (calor que elimina la piel en contacto con el aire o el agua), 3) por convección (se transfiere más calor si el aire o el agua en contacto con la piel se renuevan rápidamente), y 4) por radiación (el cuerpo pierde calor emitiendo energía radiante cuando los objetos que le rodean están a temperatura más baja que la temperatura de la piel).

De estos cuatro mecanismos, el más potente para eliminar el calor es la evaporación del sudor, ya que puede suponer el 80% de la pérdida total de calor durante el ejercicio, seguido de la conducción y convección (15%) y la radiación (5%). Por cada litro de sudor que se evapora, se pierden 580 Kilocalorías³, y deportistas de elite pueden llegar a producir cerca de 3.5 litros de sudor en cada hora de ejercicio. Durante el ejercicio en el agua, la mayor pérdida de calor se produce por conducción y convección, si la temperatura del agua es inferior a la temperatura corporal, porque la capacidad para eliminar calor por conducción en el agua es 26 veces mayor que en el aire⁶.





La capacidad que tiene el organismo para eliminar el calor depende de cuatro factores ambientales⁵: 1) La presencia o ausencia de sol (radiación), 2) La temperatura del aire (conducción), 3) La humedad relativa del aire (evaporación) y 4) La presencia o ausencia de viento (convección). El organismo eliminará más calor cuanto más viento haya y cuanto menores sean la presencia del sol, temperatura del aire y humedad relativa. Por el contrario, la eliminación del calor será tanto más difícil cuanto menos viento haya y cuanto mayores sean la presencia del sol, temperatura del aire y humedad relativa.

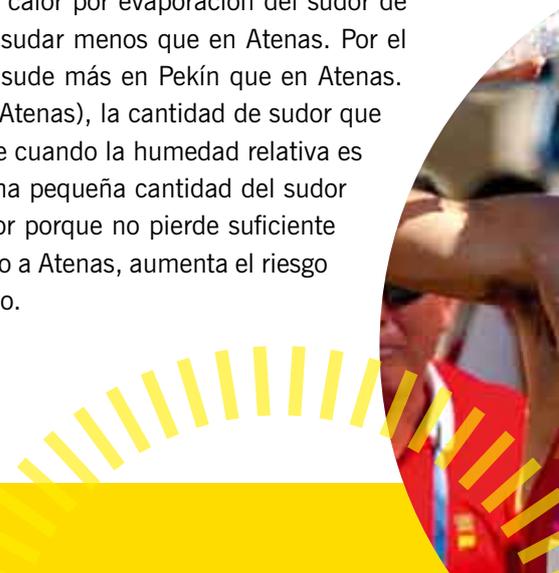
De todos estos factores ambientales, el que tiene más influencia en la capacidad para perder calor es la humedad relativa del aire⁶. Una humedad relativa del aire elevada dificulta o impide que el sudor se evapore y que el organismo pierda una gran cantidad de calor por evaporación. Por el contrario, una humedad relativa del aire baja permite que el sudor se evapore y que el organismo pierda una gran cantidad de calor por evaporación.

Cuando la temperatura ambiental es elevada, disminuye la capacidad para perder calor por conducción, convección o radiación. De hecho, cuando la temperatura ambiental es cercana a 35°C, no se puede perder calor por estos tres mecanismos⁷. En ese caso, el único mecanismo por el que se puede perder calor es por evaporación del sudor³.

● **Comparación entre las condiciones ambientales de Pekín, Atenas, Atlanta y Barcelona**

En líneas generales, las condiciones ambientales en Pekín serán probablemente algo más desfavorables a las observadas en Atenas. Las previsiones climatológicas mostradas anteriormente indican que, aunque la temperatura media ambiental en Pekín va a ser de 2 a 4°C inferior a la que se observó en Atenas, sin embargo la humedad relativa media va a ser muy superior (cercana al 50-90%, comparada con los valores de 30-40% de Atenas). En otras palabras, debido a los valores más bajos de temperatura ambiental, en Pekín se perderá más calor por conducción, convección o radiación del que se perdió en Atenas. Sin embargo, debido a los mayores valores de humedad relativa, en Pekín se perderá menos calor porque se podrá evaporar menos sudor. Y como la evaporación del sudor es, con diferencia, el mecanismo más potente para perder calor, las condiciones climáticas de Pekín serán ligeramente más desfavorables que las de Atenas⁰⁴. En realidad, las condiciones climáticas que se deberían dar en Pekín, son bastante parecidas a las que se observaron en Barcelona en los Juegos Olímpicos de 1992 y en Atlanta en 1996.

El hecho de que se vaya a producir en Pekín menos pérdida de calor por evaporación del sudor de la que se produjo en Atenas, no significa que en Pekín se va a sudar menos que en Atenas. Por el contrario, lo más probable es que, para un mismo esfuerzo, se sude más en Pekín que en Atenas. Ello se debe a que cuando la humedad relativa es baja (caso de Atenas), la cantidad de sudor que se evapora por litro de sudor producido es elevada, mientras que cuando la humedad relativa es elevada (caso de Pekín, Atlanta o Barcelona), solo se evapora una pequeña cantidad del sudor producido, por lo que el organismo tiene que producir más sudor porque no pierde suficiente calor. La mayor sudoración que se producirá en Pekín con respecto a Atenas, aumenta el riesgo de que se produzca una mayor deshidratación durante el ejercicio.



1.2

Efectos del ejercicio en ambiente caluroso sobre el organismo cuando no se ingieren líquidos.

● Respuestas del organismo durante el ejercicio en calor

Cuando las condiciones ambientales son calurosas, la temperatura del organismo comienza a aumentar de modo brusco. Para evitar un aumento excesivo de dicha temperatura, el organismo pone en funcionamiento los diferentes medios que tiene para eliminar el calor: comienza a sudar con profusión para eliminar calor por la evaporación del sudor, aumenta la cantidad de aire húmedo que expulsa por los pulmones y envía parte de la sangre que circula por el organismo hacia la piel para que aumente el sistema de refrigeración (la piel calentada por la sangre elimina calor hacia el aire por conducción y convección)^{5,8,9} y para que produzca más sudor⁶.

El aumento de la producción de sudor y el aumento de la cantidad de sangre que circula por la piel tienen dos consecuencias⁵: 1) Una positiva, porque el organismo empieza a eliminar mucho más calor y evita que la temperatura corporal aumente demasiado, y 2) una negativa, porque hay menos cantidad de sangre disponible para irrigar a los músculos que intervienen activamente durante el ejercicio, ya que una parte de la sangre se ha enviado hacia los vasos de la piel y porque el sudor que se produce proviene también del líquido de la sangre⁶.

Para compensar la pérdida de líquido y mantener la cantidad de sangre que el corazón envía cada minuto a los músculos que se ejercitan, el corazón responde de dos modos: 1) aumentando su frecuencia cardíaca¹⁰⁻¹². Este aumento de la frecuencia cardíaca compensa la menor cantidad de sangre que el corazón envía a los tejidos y al músculo en cada latido, y 2) disminuyendo la sangre que circula por otros órganos, como el riñón, el hígado y los músculos que no intervienen en el ejercicio. De este modo, estas primeras reacciones del organismo permiten que la cantidad de sangre que le llega al músculo cada minuto sea parecida a la que se observa cuando la temperatura ambiental es más baja. Esta adaptación se acompaña también de un ligero aumento de la temperatura corporal hasta alcanzar valores de 37.5 a 38.5°C³. Se cree que este ligero aumento de la temperatura corporal, que también se suele observar durante los ejercicios realizados en ambiente más frío, influye en el aumento de la frecuencia cardíaca¹³ y es positivo porque favorece que la contracción muscular se haga de modo más eficiente^{3,6}.



Otras respuestas que se observan durante el ejercicio en ambiente caluroso son: un aumento de la producción de lactato^{14,15}, de la utilización de glucógeno¹⁵⁻¹⁷ y de fosfágenos musculares¹⁷, especialmente en las fibras de tipo I¹⁸, y de las concentraciones sanguíneas de adrenalina^{10,12}, noradrenalina^{10,12}, prolactina¹⁹, y hormona del crecimiento¹⁹.



● **Fatiga durante los ejercicios de larga duración (mayor de 30 minutos) realizados en ambiente caluroso**

Las adaptaciones del organismo al ejercicio en calor no se pueden mantener indefinidamente. Ello se debe a que llega un momento en el que el organismo pierde tanto líquido por el sudor y la respiración que ni el aumento de la frecuencia cardiaca (que alcanza los valores de frecuencia cardiaca máxima¹¹), ni la disminución de sangre que circula por otros órganos puede compensar esta pérdida del líquido de la sangre¹⁰. Como consecuencia de ello, comienza a disminuir la cantidad de sangre que llega a los músculos que se ejercitan y a la piel, con lo que disminuye la cantidad de sudor producida y la temperatura corporal aumenta excesivamente (por encima de 39.5-40°C)^{6,9,10}. Esto tiene consecuencias negativas sobre el organismo y sobre la marca deportiva⁹.

No se sabe por qué sobreviene la fatiga durante los ejercicios de larga duración en ambiente caluroso. Lo que se conoce es que en los deportistas que realizan ejercicios de larga duración (agotamiento en 1 a 3 horas) en ambiente caluroso, el agotamiento suele producirse en la mayoría de los casos cuando la temperatura corporal alcanza valores cercanos a 40-41°C^{11,12,20-23} y cuando los valores de frecuencia cardiaca son cercanos a la frecuencia cardiaca máxima de cada individuo^{11,21}.

Tampoco se sabe la razón por la cual la fatiga coincide con temperaturas corporales cercanas a 40-41°C. Algunos creen que esos valores críticos de temperatura corporal y el descenso de la cantidad de sangre que el corazón envía por unidad de tiempo a los músculos que se ejercitan y a la piel, pueden alterar la función cerebral²⁴ y perturbar numerosas funciones fisiológicas y bioquímicas²⁵. Aunque los mecanismos por los que se produce la fatiga a esas temperaturas no están muy claros, parece que los elevados valores de temperatura corporal podrían alterar los mecanismos del cerebro responsables de la activación voluntaria de los músculos, disminuir la cantidad de sangre que llega al cerebro y al hígado, y favorecer la mayor disminución de la concentración de glucógeno del cerebro²³.

● **Fatiga durante los ejercicios de corta duración**

Cuando los ejercicios en ambiente caluroso son de muy corta duración (ejemplo: 30 segundos) parece que no se producen efectos negativos en la marca deportiva²⁷. De hecho, cuando se aumenta la temperatura corporal en un grado antes de comenzar la prueba, la marca deportiva en ejercicios de muy corta duración mejora^{28,29}. Esta mejora solamente se produce si se hace una repetición y suele aumentar de un 4% por cada incremento de un grado centígrado previo de la temperatura muscular²⁹, siempre que el aumento de la temperatura muscular se haya producido con un calentamiento que dure muy pocos minutos. Sin embargo, cuando el calentamiento previo es muy largo, o la pérdida de líquido es elevada (mayor del 5 al 8% del peso corporal), o se hacen series muy intensas y repetidas de corta duración, la marca deportiva en ambiente caluroso no mejora e, incluso, puede empeorar^{15,30}. Durante los ejercicios intensos realizados en ambientes templados (18-21°C) que llevan al agotamiento en cerca de 7 minutos, se suelen alcanzar los valores máximos de temperatura corporal (cercana a 40°C), frecuencia cardiaca, gasto cardiaco y consumo de oxígeno^{31,32}. En un trabajo llevado a cabo en el laboratorio del Centro

de Investigación del Músculo en Copenhague, publicado en la prestigiosa revista “Circulation”³¹, los investigadores españoles José González-Alonso y José Antonio López Calbet han encontrado que cuando se calienta el cuerpo antes de comenzar el ejercicio de modo que la temperatura del cuerpo esté elevada (cerca de 38°C), se aguantan 2 minutos menos corriendo a una intensidad que en condiciones ambientales templadas provoca el agotamiento en 7 minutos, que cuando la temperatura corporal antes de comenzar el ejercicio es normal (37-37.5°C). Sin embargo, conviene señalar que el citado trabajo no se hizo en condiciones de temperatura ambiental elevada, sino que se hizo en condiciones normales pero haciendo pasar agua caliente a 44°C en una chaqueta que vestían los deportistas. Por lo tanto, no se puede asegurar que los efectos sean parecidos a los que se producen en la competición deportiva cuando la temperatura ambiental es elevada. Algunos estudios también han encontrado empeoramientos en las marcas deportivas de pruebas cuya duración estaba comprendida entre 4 y 30 minutos cuando los sujetos comenzaban el ejercicio en ambiente caluroso en condiciones de deshidratación³³. Sin embargo, esta situación no se da en el deportista durante la competición en ambiente caluroso porque generalmente, salvo en deportes con categorías de peso, se suele comenzar el ejercicio sin estar deshidratado. Por lo tanto, aunque se necesitan realizar más estudios en condiciones reales de competición, es muy probable que en ejercicios de duración comprendida entre 7 y 30 minutos se produzca un empeoramiento de la marca deportiva cuando la temperatura ambiental es elevada.

Es probable que el agotamiento en estos ejercicios que duran entre 7 y 30 minutos se produzca por las mismas razones por las que se produce en ambiente templado o frío: por la incapacidad que tiene el corazón para mantener un flujo de sangre y de oxígeno suficientemente elevado³¹. La principal diferencia estriba en que en condiciones de elevada temperatura ambiental, esta incapacidad del corazón se produce antes que a temperaturas más bajas³¹.

● Pérdidas de líquido durante el ejercicio en ambiente caluroso

En conjunto, se puede llegar a eliminar un total de hasta 4.5 litros de líquido por hora de ejercicio de larga duración en ambiente caluroso, si se suma la pérdida de líquido por el sudor (hasta 3 a 3.5 litros por hora), por la respiración (vapor de agua), por la orina y por las heces. Por ejemplo, en un partido de fútbol jugado en ambiente caluroso, lo habitual es producir cerca de 1.5 litros de sudor por hora de partido, aunque se han medido producciones de hasta 3 litros en algún jugador³⁴. Para deportistas de nivel deportivo similar, la eliminación de líquido es proporcional al peso corporal. Por ejemplo, si un deportista de 70 kilogramos de peso, elimina cerca de 3.2 litros de sudor por hora, un deportista de 55 kilogramos de peso de similar nivel deportivo y aclimatación al calor, solamente perderá 2.5 litros de sudor por hora³⁵. Sin embargo, como se explica más adelante, hay que tener en cuenta que una parte del líquido que se elimina durante el ejercicio ha sido producido por el organismo durante el propio ejercicio. Por lo tanto, no todo el líquido que se elimina durante el ejercicio debe contabilizarse como pérdida de líquido en el balance hídrico.

La consecuencia negativa de esta gran eliminación de líquido que se produce durante el ejercicio en calor es que, si es excesiva, se acompaña de un empeoramiento de la marca deportiva. En general,



la marca deportiva disminuye más cuanto mayor sea la pérdida de líquido durante el ejercicio. Esta pérdida de líquido se suele cuantificar con respecto al porcentaje del peso corporal que se pierde durante el ejercicio. Algunos autores han encontrado una disminución de la marca deportiva en ejercicios intensos, incluso en pruebas tan cortas como una carrera de 1500 metros, cuando hay una pérdida de líquido igual o mayor del 2% del peso corporal^{3,34,36,37}; es decir, una pérdida de cerca de entre 0.7 a 1.5 kilogramos en un deportista de 70 Kg de peso corporal. Cuando la pérdida es superior al 10% del peso corporal, el riesgo de muerte aumenta³⁸. Cuando la pérdida es inferior al 2% del peso corporal, no se suele observar un empeoramiento de la marca deportiva.

● **Efectos del ejercicio en ambiente caluroso en la marca deportiva, en función del tipo de deporte, sexo, corpulencia y condición física**

En general se puede afirmar que cuando no se ingieren líquidos durante el ejercicio, la disminución de la marca deportiva es clara en los ejercicios de duración superior a 30 minutos, bastante probable en los ejercicios de duración comprendida entre 7 y 30 minutos y muy poco probable en los ejercicios de muy corta duración.

Parece que la mujer elimina más calor que el hombre por convección, radiación y conducción³⁹. Sin embargo, parece que la mujer tiene menor capacidad para producir sudor que el hombre³⁹. Esto le supondría a la mujer una desventaja cuando compite en temperaturas ambientales elevadas con una humedad relativa alta, como va a ser el caso de Pekín. Por ahora, la conclusión final es que la pérdida de calor durante el ejercicio del hombre y la mujer es bastante similar. De hecho, estudios realizados en atletas y triatletas de buen nivel han mostrado que la disminución de la marca deportiva durante ejercicios en ambiente caluroso de intensidad progresiva que agotan a los sujetos entre 6 y 15 minutos, es similar en hombres y en mujeres³². Sin embargo, otros siguen sosteniendo que la mujer se adapta al calor ligeramente mejor que el hombre⁵.

Aunque se ha estudiado muy poco, parece que en la mujer no existen diferencias en las respuestas al ejercicio en ambiente caluroso cuando se ejercita en distintas fases de su ciclo menstrual³.

Los efectos del ejercicio sobre el organismo en ambiente caluroso parecen ser diferentes en personas grandes que en personas pequeñas. Parece que los deportistas menudos tienen más facilidad para eliminar calor que los deportistas de más envergadura y peso corporal, aunque tengan la misma proporción de grasa corporal en su organismo^{11,40}. Ello se debe a que el cociente entre su superficie corporal dividido por su peso corporal es mayor en las personas de poca envergadura que en las de mayor envergadura. Esto les permite poder eliminar proporcionalmente más calor que las personas de más envergadura y tener mejores resultados en competición en ambiente caluroso.

Por último, parece que los sedentarios que hacen una sesión de ejercicio en ambiente caluroso se agotan a temperaturas corporales más bajas (38-39°C) que los deportistas (40-41°C). Sin embargo, si los sujetos sedentarios llevan a cabo varias semanas de entrenamiento de resistencia aeróbica, consiguen alcanzar temperaturas corporales más elevadas, cercanas a las que alcanzan los deportistas.

Ello se debe, probablemente, a que el aumento de la temperatura corporal que se produce durante las sesiones de entrenamiento, podría habituar a los sujetos a ejercitarse en condiciones de temperatura corporal elevada²⁶.

● **Modos de atenuar en lo posible los efectos negativos del ejercicio en ambiente caluroso**

Existen cinco maneras de reducir en lo posible los efectos negativos del ejercicio en ambiente caluroso: 1) con una buena dieta (reposición de lo perdido durante el ejercicio), 2) enfriando el cuerpo antes de empezar el ejercicio, 3) disminuyendo la grasa corporal, 4) con una buena aclimatación y 5) con un buen entrenamiento. En los siguientes apartados se explicará con más detalle algunos de los métodos que se pueden utilizar para atenuar los efectos negativos del ejercicio en ambiente caluroso.

1.3 **Recomendaciones dietéticas para el ejercicio en ambiente caluroso**

● **Importancia de las recomendaciones dietéticas en ambiente caluroso**

Seguir unas pautas dietéticas durante el ejercicio en ambiente caluroso es muy importante porque muchos estudios han demostrado que la ingestión de alimentos durante el ejercicio en calor mejora la marca deportiva y disminuye el riesgo de tener un golpe de calor.

La consecuencia más positiva que tiene para el deportista la ingestión de líquidos durante los ejercicios de larga duración (mayor de 30 minutos) es que mejora su marca deportiva⁴¹⁻⁴³. Ello se debe a que como no se deshidrata tanto como cuando no ingiere líquido, no se observa tan pronto la disminución progresiva de la cantidad de sangre que el corazón puede enviar a los músculos que se ejercitan o a la piel^{10,25}, ni aumentan tan rápidamente la temperatura corporal⁴⁴, la frecuencia cardíaca⁴⁵, la concentración sanguínea de adrenalina¹⁰, ni la producción muscular de lactato¹⁷.

En este caso, si la ingestión de líquidos es suficiente para compensar la pérdida de líquidos, la temperatura corporal no aumentará excesivamente, no será un factor limitante del ejercicio y el sujeto se fatigará por otros motivos. Sin embargo, si la ingestión de líquidos no puede compensar su pérdida de líquidos, el agotamiento se suele producir por las mismas razones por las que se produce cuando no se ingieren líquidos, aunque se produce más tarde⁴⁶.

Las dos recomendaciones dietéticas más importantes que se le pueden dar a un deportista son: 1) que tiene que comenzar la competición bien hidratado, y 2) que no debería modificar sus hábitos dietéticos en las competiciones importantes sin haberlo probado antes en entrenamientos o en competiciones de menor nivel.



● Estado de hidratación antes de comenzar una sesión de entrenamiento o competición

Los deportistas no siempre suelen comenzar bien hidratados las sesiones de entrenamiento o las competiciones. De hecho, como suelen entrenar intensa y frecuentemente y pierden mucho líquido durante el entrenamiento, tienen el riesgo de no recuperar totalmente el líquido perdido durante el entrenamiento, y de comenzar la siguiente sesión de entrenamiento o la competición en un estado de deshidratación^{47,48}. Este riesgo es mayor cuando se entrena y compite en ambiente caluroso o en deportistas que compiten en deportes con categorías por pesos⁴⁹.

Antes de comenzar una sesión de entrenamiento o una competición se puede saber de varias maneras el grado de hidratación del deportista (si ha recuperado el líquido perdido durante la sesión anterior de ejercicio). En principio, el mejor momento del día para determinar el grado de hidratación es por la mañana en ayunas, después de levantarse y de haber orinado. Los métodos más utilizados en el mundo deportivo son los siguientes⁵⁰: 1) Controlando el peso corporal, y 2) midiendo el volumen, el color, la gravedad específica, la osmolaridad ó la conductividad de la orina. De este modo se puede asegurar que los sujetos están bien hidratados antes de empezar un ejercicio.

Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

El método más preciso para determinar el grado de hidratación del organismo es medir la osmolaridad de la orina³⁴. La osmolaridad mide la cantidad en osmoles de partículas de soluto por kilogramo de solución. Mediante este método, solamente se detectan los solutos que se disocian (como, por ejemplo, el sodio y el cloro), y no se detectan partículas como la glucosa, la urea y las proteínas⁵⁰. En general, se considera que un sujeto está muy poco deshidratado si sus valores de osmolaridad en la orina son inferiores a 700 miliosmoles por kilogramo^{34,38}. Cuando los valores de osmolaridad de la orina están comprendidos entre 700 y 1050 miliosmoles por kilogramo, se considera que está moderadamente deshidratado, y cuando exceden de 1050 miliosmoles por kilogramo se considera que el sujeto está severamente deshidratado⁵¹. Sin embargo, la medida de la osmolaridad tiene el inconveniente que su medición se realiza con materiales caros (osmómetro) y necesita llevarse a cabo con personal especializado³⁸.





El método más sencillo para estimar el grado de hidratación es mediante la medida del peso corporal. Se considera que el sujeto está correctamente hidratado si su peso corporal por la mañana en ayunas es estable a lo largo de los días (varía menos del 1% de día a día)⁵⁰. Para tomar un peso corporal de referencia a un deportista, se le debe pesar durante 3 días seguidos, por la mañana, en ayunas. En las mujeres hay que tener en cuenta la fase del ciclo menstrual en la que se encuentran, porque en la fase lútea del ciclo (unos días antes de la menstruación) su peso corporal puede ser unos dos kilogramos mayor que en el resto de las fases, debido a que retienen más agua. Por ello, en el caso de las mujeres, se deberían tener dos pesos de referencia: el de su fase lútea del ciclo, y el del resto de los días de su ciclo menstrual.

La Asociación Nacional Norteamericana de Entrenadores (NATA) considera que se produce un estado de deshidratación mínima cuando de un día para otro se observa una pérdida comprendida entre el 1% y el 3% del peso corporal⁵². La deshidratación se considera moderada cuando la pérdida está comprendida entre el 3% y el 5% del peso corporal, y se considera deshidratación severa cuando la pérdida es superior al 5% del peso corporal⁵². Aunque es una medida muy fácil de llevar a cabo, el peso corporal presenta el inconveniente de que no se puede saber si la recuperación del peso corporal de un día a otro se debe a una recuperación de los líquidos perdidos o si se debe a que el deportista ha comido más o menos alimentos sólidos⁵⁰. Además, aunque el organismo haya recuperado todo el volumen del líquido de un día para otro, no se puede saber si este líquido se ha distribuido correctamente en los diferentes espacios del organismo (intracelular y extracelular⁵⁰).

Un tercer método para estimar el grado de hidratación es midiendo el volumen de la orina. Para ello, se recoge la orina de un sujeto durante 24 horas y se mide su volumen. En general el volumen normal diario de orina de una persona es de 1.5 a 2.5 litros⁵⁰. Se considera que si una persona orina menos de 1.5 litros diarios de orina, se debe sospechar que puede estar deshidratada. El problema es que es muy engorroso controlar todo el volumen diario de orina producido por un deportista.

El cuarto método para estimar el grado de hidratación es medir el color de la orina. El color de la orina se mide comparándolo con una tabla de colores de referencia que se puede encontrar en Internet (ejemplo: <http://www.topendsports.com/testing/tests/urine-color.htm>). Para ello, conviene desechar la primera parte de la micción y depositar la segunda parte de la micción en un recipiente de plástico transparente. A continuación se compara el color de la orina con la tabla de colores de referencia. Se considera que el sujeto está bien hidratado si el color de la orina es inferior o igual al valor 3 de la tabla de colores, moderadamente deshidratado si el color de la orina está comprendido entre los valores 4 a 6 de la tabla de colores de referencia, mientras que se considera que el sujeto tiene una deshidratación severa si el color de la orina es superior al valor 6 de la escala⁵³.

El quinto método de estimación del grado de hidratación es medir la conductividad específica de la orina. Se mide con un conductímetro portable, que se puede llevar al terreno de juego, es fácilmente manejable, no requiere personal muy entrenado y da la información rápidamente. Generalmente lee escalas de 5 niveles y se considera que el sujeto está deshidratado cuando el valor de conductividad específica es superior a 3³⁸.



Por último, el sexto método para estimar el grado de hidratación es medir la gravedad específica de la orina. La gravedad específica de la orina mide la densidad de una muestra de orina comparada con la densidad del agua⁵⁰. El método más sencillo es la medida de la gravedad específica con tiras reactivas (como, por ejemplo, las tiras Multistix) que estiman la gravedad específica de la orina mediante colores de las tiras reactivas entre valores comprendidos entre 1.000 y 1.030. Se considera que el sujeto está muy poco deshidratado cuando la gravedad específica de la orina está comprendida entre 1.010 y 1.020⁵². Se considera que el sujeto está deshidratado moderadamente cuando la gravedad específica de su orina está comprendida entre 1.020 y 1.030 y que está deshidratado severamente cuando la gravedad específica de la orina es superior a 1.030⁵². Este método tiene la ventaja de que es rápido, bastante fiable y sencillo de utilizar, pero tiene el inconveniente que no suele ser fácil determinar el color exacto de la tira⁵⁰.

● **Recomendaciones dietéticas en las horas previas a una competición o entrenamiento intenso de larga duración en ambiente caluroso**

Se puede decir que en ambiente caluroso es conveniente tomar cerca de medio litro de líquido durante la hora previa al comienzo de la competición, dividida en 4 tomas cada 15 minutos. Dicho líquido debería contener sales minerales. Si el ejercicio va a durar más de 1 hora, también es recomendable ingerir hidratos de carbono, especialmente en las dos últimas tomas. En todo caso, aunque se tome líquido con sales minerales e hidratos de carbono antes de empezar el ejercicio, se debe seguir tomando líquido durante el ejercicio⁵⁴. Además, siempre hay que probarlo durante el entrenamiento porque puede haber algunos deportistas que pueden presentar molestias intestinales durante el ejercicio en ambiente caluroso cuando ingieren esas cantidades de líquido antes de comenzar la competición⁵⁵.

Además de la ingestión de líquido indicado en el párrafo anterior, existen otros dos medios para tener más líquido que el normal en el organismo antes de empezar el ejercicio: 1) bebiendo agua con elevadas concentraciones de sal. Sin embargo es difícil de llevar a cabo porque tiene muy mal sabor y puede causar náuseas y vómitos, y 2) bebiendo antes del ejercicio agua con glicerol (aproximadamente 1 gramo de glicerol por kilogramo de peso, unas 2.5 a 3 horas antes de empezar el ejercicio, con cerca de un litro de agua), se consigue retener más agua en el organismo (unos 600 mililitros)⁵⁶, especialmente en la sangre⁵⁷. Por el momento, aunque los resultados de los estudios realizados son contradictorios^{33,58}, parece que la ingestión previa de glicerol no tiene efectos sobre la marca deportiva, especialmente si los sujetos ingieren líquido suficiente (cerca de medio litro) durante la hora que precede al comienzo de la competición⁵⁹, o están bien hidratados⁴⁷. Cuando parece que produce efectos positivos es cuando los sujetos están muy deshidratados y tienen dos competiciones seguidas con muy poco tiempo de descanso entre ellas⁵⁷. Sin embargo, como la ingestión de glicerol presenta algunos efectos secundarios (náuseas, molestias gastrointestinales, dolores de cabeza, aumento de peso corporal⁵⁶), no parece recomendable su utilización. Por último, conviene recordar que una ingestión excesiva de glicerol puede ser muy tóxica porque puede provocar una deshidratación cerebral⁶⁰.

● **Recomendaciones dietéticas durante la competición o entrenamiento intenso de larga duración**

Durante muchos años, algunas Sociedades Científicas como, por ejemplo, el Colegio Americano de Medicina del Deporte (American College of Sports Medicine), han recomendado que para prevenir en lo posible una pérdida excesiva de agua durante las competiciones o ejercicios de larga duración se recomienda beber durante el entrenamiento o la competición hasta un máximo de 10 a 12 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal por hora de ejercicio (de unos 700 a unos 850 mililitros de líquido por hora, para una persona de 70 Kg de peso corporal)⁵, en sorbos de un volumen cercano a 150 a 250 mililitros cada 15 minutos³, de una bebida isotónica fresca (a unos 15-21°C)^{3,5,48}, que contenga de 40 a 80 gramos de hidratos de carbono por litro de agua^{3,4,42,61}, una concentración de sodio de 30 a 50 milimoles por litro de líquido y otros electrolitos como cloro y potasio, todo ello en cantidades que estén de acuerdo con las condiciones climatológicas e individuales⁴⁸.

Aunque estas recomendaciones sobre ingesta de líquido durante el ejercicio se han sostenido durante los últimos 30 años, sin embargo, recientemente algunos investigadores como Tim Noakes y la Asociación Internacional de Directores Médicos de Competiciones de Maratón recomiendan que se ingiera, como máximo, solamente de unos 6 a 8 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal, por hora de ejercicio (de unos 400 a 450 mililitros de líquido por hora de ejercicio)⁶³, en vez de los 10 a 12 mililitros por kilogramo de peso corporal por hora de ejercicio, recomendados por el Colegio Americano de Medicina del Deporte.

Los defensores de los 6 a 8 mililitros por kilogramo de peso y por hora sostienen que hasta ahora se ha estimado que el déficit hídrico (en litros) que se produce durante un ejercicio de larga duración es proporcional o, incluso, similar a la pérdida de peso (en kilogramos). Sin embargo, dicho déficit hídrico (en litros) es en realidad muy inferior a la pérdida de peso corporal, expresada en kilogramos, que se observa durante el ejercicio. Ello se debe a que para contabilizar el déficit hídrico producido durante el ejercicio hay que descontar de la pérdida de peso corporal, los siguientes términos⁵: 1) la cantidad de anhídrido carbónico resultante de la oxidación de hidratos de carbono, proteínas y lípidos que se elimina por la respiración, 2) la cantidad de agua formada con la oxidación de esos substratos, y 3) el agua que estaba retenida en reposo con el glucógeno del músculo y del hígado, que se libera durante el ejercicio al utilizarse el glucógeno, se elimina por el sudor, y que no se debe contabilizar en el balance hídrico. Por ejemplo, en un atleta de 70 kilogramos de peso corporal que corre el maratón en un tiempo de 2 horas 10 minutos y que pierde 3 kilogramos de peso corporal durante la carrera, para calcular su déficit hídrico hay que descontar de los 3 kilogramos de peso perdido (equivalente a 3 litros de líquido), las siguientes cantidades: 1) unos 500 gramos derivados de la oxidación de substratos, eliminados por la respiración, 2) unos 400 mililitros de agua formada por la oxidación de esos substratos y eliminada por el sudor y la respiración, y 3) unos 1200 mililitros de agua que estaban retenidos en reposo con el glucógeno muscular, se han liberado al utilizarse el glucógeno y se han eliminado por el sudor y la respiración. Esto quiere decir que el déficit neto de líquido que se ha producido durante el ejercicio en el corredor de maratón del ejemplo no es el equivalente al peso



corporal perdido durante el mismo (3 kilogramos, equivalente a 3 litros de líquido), sino al volumen resultante de descontar de esa cantidad los 500 gramos de la utilización de substratos, los 400 mililitros de la producción de agua producida por la oxidación de substratos y los 1200 mililitros de agua que estaban retenidos con el glucógeno muscular. Es decir, que, en el ejemplo anterior, el déficit neto de líquido que se ha producido durante el maratón sería de unos 900 mililitros ($3000 - 500 - 400 - 1200 = 900$), lo que corresponde a unos 415 mililitros de líquido por hora de carrera o a unos 6 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal y por hora de ejercicio.

Teniendo en cuenta las estimaciones realizadas, la recomendación de unos 6 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal y por hora de ejercicio parece más razonable que la cantidad recomendada hasta hace poco tiempo de 10 a 12 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal y por hora de ejercicio. Además, esta cantidad de 6 a 8 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal y por hora de ejercicio se aproxima más a las cantidades que ingieren normalmente los corredores de elite de maratón durante la competición. Por último, en el año 2007 las posturas se han ido acercando porque el Colegio Americano de Medicina del Deporte, en un posicionamiento oficial, ha corregido a la baja las recomendaciones que había mantenido desde 1996 (ingerir hasta 12 mililitros de líquido, por kilogramo de peso, por hora de ejercicio), ya que recomienda desde 2007 ingerir un máximo de unos 8 mililitros de líquido, por kilogramo de peso, por hora de ejercicio, y ya no recomienda “beber lo máximo que se pueda tolerar para evitar que el peso corporal disminuya durante el ejercicio”.

Cuando las condiciones ambientales son muy calurosas, se recomienda que la bebida contenga una menor cantidad de hidratos de carbono y de sales minerales para favorecer una mayor velocidad de paso desde el aparato digestivo hasta la sangre. Cuando la duración del ejercicio es menor de una hora se suele recomendar ingerir menor cantidad de hidratos de carbono porque, aunque favorecen la absorción de líquido desde el intestino⁴⁸, se ha visto que la ingestión de hidratos de carbono no tiene efectos positivos sobre la marca⁴⁸. De todos modos, se recomienda que los líquidos contengan siempre alguna cantidad de hidratos de carbono, porque favorece que el organismo absorba más líquido que cuando solamente ingiere líquido^{22,48}.

En las recomendaciones precedentes se indica que es conveniente ingerir sodio y sales minerales durante el ejercicio. Ello se debe a dos razones: 1) porque se pierden sales minerales por el sudor durante el ejercicio, especialmente sodio y cloro⁶², y 2) porque si se ingiere agua con sales minerales, el organismo y la sangre retienen más agua que si solamente se ingiere agua⁴⁴. Tampoco es necesario tomar cantidades excesivas de sal en ambiente caluroso, porque se ha visto que un exceso de ingestión de sal durante o inmediatamente antes del ejercicio no mejora o incluso empeora la marca deportiva en ambiente caluroso⁶³. Basta con echar algo más sal de lo habitual en las comidas³³.

Hay que tener en cuenta que las recomendaciones sobre la ingesta de líquidos durante el ejercicio son válidas para la mayoría de los sujetos, pero no para todos⁴. Sin embargo, puede haber sujetos que no toleren ingerir las cantidades de líquido recomendadas porque se acompañan de molestias digestivas⁴⁴. Además, es posible que estas cantidades de líquidos sean más recomendables por ejemplo para el ciclismo que para la carrera a pié, ya que parece que en la carrera a pie no se puede

ingerir tanta cantidad de líquidos⁴⁴ porque la percepción del esfuerzo está aumentada⁶⁹ y una parte del líquido ingerido permanece en el estómago sin ser absorbido⁷⁰. Por ello, algunos sostienen que durante la carrera a pie, es posible que sea mejor ingerir menor cantidad de líquido que durante la práctica del ciclismo^{44,71}. De cualquier modo, es imprescindible que cada uno vaya practicando poco a poco durante los entrenamientos o en competiciones poco importantes hasta encontrar lo que más le conviene.

Si durante el ejercicio se ingieren las cantidades de líquido recomendadas, se atenuarán los efectos negativos del ejercicio en calor, aunque no todos. Sin embargo, es muy probable que la ingestión de líquidos durante el ejercicio en ambiente caluroso no podrá evitar completamente un cierto grado de deshidratación y de empeoramiento de la marca, incluso en los ejercicios de una duración cercana a 30 minutos⁸¹, pero podrá atenuar sus efectos de modo significativo⁵.

A menudo se ha afirmado que la aparición de calambres puede estar relacionada con una ingestión insuficiente de sal. La realidad es que esto no se ha demostrado. Sin embargo, un estudio realizado con jugadores de fútbol americano que tenían calambres frecuentemente durante el entrenamiento y la competición, encontró que estos jugadores eran los que presentaban mayores pérdidas de líquido por el sudor y mayores concentraciones de sodio en el sudor, comparado con los jugadores que no sufrían calambres⁶⁸. De todos modos, esto debe ser estudiado con más profundidad.

● **No es conveniente tomar más líquido del recomendado durante el ejercicio**

Como uno de los peligros del ejercicio en ambiente caluroso es la deshidratación, se ha recomendado durante años que hay que intentar beber la máxima cantidad de líquido posible durante el ejercicio porque “no hay riesgo” si se bebe líquido en exceso⁵. También se ha recomendado que no hay que esperar a tener sensación de sed para comenzar a ingerir líquido durante el ejercicio, para evitar perder peso durante el mismo y porque la sensación de sed comienza a manifestarse solamente cuando ya se ha producido una deshidratación importante, cercana al 2% del peso corporal^{62,63}.

Sin embargo, como se ha indicado en el apartado anterior, no parece conveniente beber tanto líquido durante el ejercicio como para prevenir completamente la pérdida de peso corporal. Esto hace que los autores que recomiendan ingerir solamente 6 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal y por hora de ejercicio, recomienden también beber solamente cuando se tiene sed, y no antes. Además, no es recomendable tomar más líquido que el necesario para compensar el déficit hídrico⁴¹ porque se ha visto que existe un riesgo importante cuando se beben excesivas cantidades de líquido durante el ejercicio: la hiponatremia o disminución de la concentración plasmática de sodio por debajo de 130-135 milimoles por litro⁶⁵, que es una urgencia médica grave^{66,67}.

Como no se puede calcular de modo preciso el déficit hídrico producido durante el ejercicio, como norma general se puede decir que es conveniente ingerir líquidos para evitar que el peso corporal disminuya durante el ejercicio más allá del 1% al 2%^{63,64}. De hecho, se ha observado que cuando el deportista ingiere tanto líquido durante el ejercicio que logra que su peso corporal no disminuya



durante el mismo, no es capaz de eliminar más calor, ni de mejorar más su marca que cuando pierde un 1% al 2% del peso corporal durante el ejercicio⁶⁴.

Por último, si se toman cantidades mayores de hidratos de carbono que las recomendadas durante el ejercicio pueden producir molestias intestinales y pueden desplazar líquido desde la sangre hacia el intestino. Este desplazamiento de líquido provoca un descenso de la cantidad de líquido de la sangre, una mayor deshidratación, un mayor aumento de la temperatura corporal y un empeoramiento de la marca deportiva^{17,48}.

● **Recomendaciones dietéticas durante los ejercicios de corta duración (menor de 30 minutos)**

Hemos visto que es bastante probable que en los ejercicios comprendidos entre 7 y 30 minutos, la marca deportiva empeore en ambiente caluroso. Sin embargo, existen varios problemas prácticos difíciles de solventar para alimentarse durante este tipo de competición: tomar líquidos durante ejercicios de alta intensidad puede obligar al deportista a tener que disminuir la intensidad del ejercicio para poder beber, puede descentrarle e incluso puede producirle molestias intestinales porque a intensidades elevadas del ejercicio parece que se absorbe menos líquido del intestino. Por lo tanto, desde el punto de vista práctico, las únicas recomendaciones que se pueden aplicar son las relacionadas con las horas previas al ejercicio, no durante el ejercicio.

● **Recomendaciones dietéticas después de haber finalizado el ejercicio**

En las primeras horas posteriores a la competición es muy importante rehidratarse y recuperar lo más rápidamente posible las reservas energéticas utilizadas durante el ejercicio⁵ para que el deportista no comience deshidratado la siguiente competición o sesión de entrenamiento. Los dos aspectos (hidratación e ingestión de sustratos energéticos) son importantes porque si, por ejemplo, se ingieren reservas energéticas durante la recuperación, pero no se recupera el líquido perdido durante el ejercicio, la síntesis de glucógeno y de proteínas será inferior a la que se observa cuando se recupera también el líquido perdido⁷². Para estimar el grado de deshidratación, conviene pesarse antes, nada más terminar la competición y al día siguiente al levantarse. Si la pérdida de peso durante la competición ha sido inferior al 2% del peso corporal, basta con beber cuando se tenga sed⁵. Pero si la pérdida de peso es superior al 2% del peso corporal, conviene beber aunque no se tenga sed y echar más sal de lo normal a los alimentos⁵⁶. Algunos autores⁷³ recomiendan que para recuperar el equilibrio hídrico durante las 6 primeras horas de recuperación, se debe beber una cantidad de litros de líquido igual a la cantidad de kilogramos de peso corporal perdidos durante la sesión de entrenamiento multiplicada por 1.5 (ejemplo: si se han perdido 2.5 kilogramos de peso, la cantidad de líquido que se debería ingerir en las 6 primeras horas de recuperación debería ser igual a $2.5 \times 1.5 = 3.8$ litros de líquido). Ello se debe a que durante las 6 horas de recuperación, el organismo también pierde líquido por la respiración, por la piel, por la orina y por las heces. Es importante que el líquido ingerido contenga suficientes cantidades de sal, porque si solamente se ingiere agua, se eliminará una gran parte de ella por la orina^{56,73,74}. El tema de la ingesta de sal durante la recuperación es muy



importante porque la mayoría de las bebidas comerciales tienen poca concentración de sal (unos 10 a 25 milimoles por litro)⁵⁶, comparada con la cantidad de sal que se aconseja tomar durante la recuperación (unos 50 milimoles por litro de líquido⁵⁶). La mejor manera de consumir esta cantidad extra de sal es tomando comida sólida cuando sea posible. Existen dudas sobre si ingerir potasio favorece la rehidratación⁷⁵. Por último, como durante el ejercicio en ambiente caluroso se utiliza más glucógeno muscular por unidad de tiempo que en ambiente templado o frío, conviene que el líquido y los alimentos sólidos ingeridos contengan cantidades elevadas de hidratos de carbono (cerca de 1 gramo de hidratos de carbono por kilogramo de peso y por hora durante las primeras horas de recuperación y un total de 7-10 gramos de hidratos de carbono por kilogramo de peso y por día^{56,76}). No se recomienda ingerir bebidas que tengan cafeína o bebidas sodadas⁵⁶ porque favorecen la eliminación de líquido. El resto de los minerales se pueden recuperar comiendo, por ejemplo un plátano o un zumo de naranja, sopa de legumbres o de carne.

Algunos autores piensan que se necesita tomar al menos 10 gramos de proteínas durante los primeros minutos de recuperación porque favorece la síntesis de proteínas e impide que el músculo siga oxidando proteínas musculares durante la recuperación⁸². También se considera recomendable administrar vitaminas antioxidantes porque parece que en ambiente caluroso se producen más radicales libres⁵⁶. Sin embargo, esto último no está demostrado.

Algunos sostienen que se recupera más rápidamente si se administra el líquido por vía intravenosa que por vía oral. Algunos estudios realizados al respecto indican que los sujetos deshidratados menos de un 4% de su peso corporal, no se recuperan antes si se administran líquidos por vía intravenosa⁷⁷. Incluso, algunos estudios han encontrado que si se administra líquido por vía intravenosa a un sujeto deshidratado y se le hace realizar 20 minutos después un ejercicio de larga duración hasta el agotamiento





(35 minutos) en ambiente caluroso, la marca deportiva es peor que si se le administra la misma cantidad de líquido por vía oral^{78,79}. También se ha visto que deportistas de élite que han perdido un 4% de su peso corporal en un entrenamiento o competición, pueden recuperar durante las dos primeras horas de recuperación casi la mitad de lo perdido durante el ejercicio si ingieren por vía oral unos 2.3 gramos por kilogramo de peso corporal de hidratos de carbono, unos 34 miligramos por kilogramo de peso corporal de sodio y unos 28.4 mililitros de líquido por kilogramo de peso corporal; es decir, para un hombre de 70 kilogramos de peso corporal, unos 160 gramos de hidratos de carbono, unos 2.5 gramos de sodio y unos 2 litros de agua⁸⁰. También se ha visto que con una adecuada ingesta de líquido y de sólido por vía oral, se puede restaurar completamente en 3 a 6 horas las pérdidas líquidas y los sustratos utilizados. Sin embargo, es posible que en algunas circunstancias excepcionales como, por ejemplo, cuando se produce una gran deshidratación y el deportista debe competir después de muy poco tiempo de recuperación, o se encuentra tan agotado que casi no puede comer, la rehidratación por vía intravenosa sea más efectiva que la vía oral, puesto que en estos casos resulta muy difícil ingerir grandes cantidades de líquido y de sólido por vía oral en un corto espacio de tiempo⁴⁷.

● **¿Si se siguen estas recomendaciones dietéticas, se evitará la deshidratación durante la estancia en Pekín?**

En reposo, lo más probable es que se evite o, al menos, se atenúe la deshidratación. Durante el ejercicio, lo que es seguro es que si se ingieren líquidos, se atenuarán los efectos negativos del ejercicio en calor, aunque no todos. Por lo tanto, es muy probable que la ingestión de líquidos durante el ejercicio en ambiente caluroso no podrá evitar completamente un cierto grado de deshidratación y de empeoramiento de la marca, incluso en los ejercicios de una duración cercana a 30 minutos⁸¹, pero podrá atenuar sus efectos de modo significativo⁵.

● **¿Los deportistas de élite suelen seguir esas recomendaciones?**

Poco. Muchos de los estudios que se han realizado sobre los efectos de la hidratación durante el ejercicio se han hecho en condiciones de laboratorio, en ejercicios en bicicleta, sin viento y con sujetos que no son deportistas de élite⁸³. Por lo tanto, es posible que las recomendaciones no deban ser exactamente iguales para los deportistas de élite, especialmente cuando compiten en carreras a pie. Además, como se ha indicado anteriormente, la realidad es que los deportistas de élite, especialmente los atletas de largas distancias, suelen ingerir durante la competición menor cantidad de líquido en ambiente caluroso que la recomendada por diferentes sociedades científicas⁸³. No se conocen las razones por la que los deportistas de élite podrían ingerir menos líquidos durante el ejercicio en ambiente caluroso que lo recomendado por las sociedades científicas. Algunos autores sugieren que puede deberse a que si estos atletas bebiesen las cantidades de líquido recomendadas, tendrían más riesgo de tener que



reducir la intensidad del ejercicio para concentrarse en beber, de tener que pararse para orinar o de tener que reducir la intensidad del ejercicio debido a las molestias intestinales. La razón de estas molestias estaría en que a las elevadas velocidades a las que se corre el maratón, los corredores de élite pueden absorber menos líquido del intestino que los corredores que corren a bajas velocidades^{41,69,84}. Por dicho motivo, se recomienda que cada deportista pruebe en entrenamientos o en competiciones poco importantes y de modo progresivo el tipo y cantidad de líquido que mejor le va, antes de hacerlo en una competición importante.

● Deportes con categorías por peso corporal

Los deportes en los que se compite por categorías de peso corporal (Halterofilia, Judo, Remo, Boxeo, etc.) deben prestar atención a las pérdidas de líquido cuando tengan necesidad de bajar de peso para entrar en las categorías correspondientes, pues este tipo de actuación es especialmente negativo para el rendimiento cuando se realiza en un ambiente caluroso. Como se ha indicado anteriormente, estos deportistas tienen más riesgo de estar deshidratados y deberían controlar periódicamente su grado de hidratación.

1.4 Enfriamiento previo al ejercicio en ambiente caluroso

Otro método que teóricamente debería retrasar la deshidratación consiste en enfriarse antes de la competición. Ello se debe a que, como hemos indicado, en ambiente caluroso la fatiga durante el ejercicio de larga duración suele coincidir con valores de temperatura corporal cercanos a 40°C. Por eso, teóricamente se podría pensar que enfriando el cuerpo antes del ejercicio mediante, por ejemplo, una inmersión en agua fría, permitiría comenzar el ejercicio con una temperatura corporal más baja que lo normal (ejemplo: cerca de 36°C) y retrasar el momento en el que se alcanzan los 40°C⁸⁵. Esto se acompañaría de una mejora de la marca.

● Efectos del enfriamiento previo en la marca deportiva realizada en ambiente caluroso

Existen trabajos experimentales que han observado efectos positivos del enfriamiento previo del cuerpo en la marca deportiva en ambiente caluroso. Los resultados de estos estudios muestran que el enfriamiento previo mediante inmersión en agua fría hace que la frecuencia cardiaca, la temperatura de la piel, y la temperatura corporal^{20,86} durante el ejercicio de larga duración sean menores y la marca deportiva mejor⁸⁶ que cuando no se enfría previamente^{20,86}. Otros estudios han encontrado también efectos positivos del enfriamiento en la marca deportiva en ejercicios de larga duración realizados en ambientes calurosos (temperatura ambiente superior a 30°C)^{87,88}. Si, además del enfriamiento previo, los deportistas ingieren líquidos adecuadamente durante el ejercicio, parece que los efectos del enfriamiento previo sobre la marca deportiva son todavía mayores⁸⁹. Además, parece que las ventajas del enfriamiento previo son mayores cuanto mayor sea la temperatura ambiental y la humedad relativa⁸⁸.



El enfriamiento previo parece que solamente supone una ventaja en ejercicios de duración mayor de 20 a 40 minutos⁸⁵. Los resultados de los pocos estudios realizados sobre ejercicios de menor duración son discordantes^{91,92}. Estos resultados discordantes no aconsejan por el momento realizar protocolos de enfriamiento previo en las competiciones de duración menor de 30 minutos.

En los estudios precedentes, los sujetos realizaban un enfriamiento de todo el cuerpo. Sin embargo, se puede pensar que enfriar demasiado los músculos, tendones y articulaciones que van a intervenir activamente durante el ejercicio puede favorecer la aparición de lesiones durante la competición. Algunos autores han estudiado los efectos de enfriar el resto del cuerpo pero sin enfriar los músculos que van a intervenir durante el ejercicio. En un estudio realizado en Australia⁸⁸ se ha encontrado que los efectos positivos del enfriamiento sobre la marca deportiva (ejercicio en bicicleta de 35 minutos de duración, a 35°C de temperatura ambiente), son similares si se enfría todo el cuerpo, o si se mantienen calientes los músculos que van a intervenir durante el ejercicio pero se enfría el resto del cuerpo. Sin embargo, otro estudio realizado en Inglaterra encontró que las mejores prestaciones durante un ejercicio intermitente (20 series de 5 segundos de ejercicio en bicicleta a la máxima intensidad posible, separados por 1'55" de recuperación entre series) se producían cuando, antes de comenzar el ejercicio, se enfriaban los músculos cuádriceps e isquiotibiales, colocando sobre el muslo placas de hielo a una temperatura de -10°C, recubiertas de algodones. Los efectos sobre la marca eran superiores que los observados cuando se enfriaba previamente durante 20 minutos mediante inmersión hasta el cuello en agua fría a 17.8°C , o vistiendo chalecos de hielo a 11°C durante 20 minutos⁹⁰. Por lo tanto, no se sabe si es mejor o no enfriar todo el cuerpo, o solamente los músculos que van a intervenir en el ejercicio, o todos los músculos menos los que intervienen en el ejercicio.

● Protocolo recomendado de enfriamiento previo

Ante todo conviene ser prudente a la hora de dar unas recomendaciones al respecto. Ello se debe a diferentes motivos: 1) la mayoría de los estudios realizados sobre el enfriamiento previo se han llevado a cabo en condiciones de laboratorio. La respuesta en la pista al aire libre que presenta condiciones ambientales diferentes (viento, penetración en el aire, humedad relativa, etc.), puede ser diferente y ha sido poco estudiada, 2) es posible que la respuesta al enfriamiento sea individual y que haya deportistas que toleren mal el enfriamiento previo, y 3) muchas veces las condiciones en las que se desarrolla la competición, hacen muy difícil poder hacer un protocolo de enfriamiento. Si se pudiese hacer antes de participar en ejercicios de larga duración, sería conveniente enfriarse durante 45 minutos antes de comenzar la competición, de dos maneras posibles: 1) o bien estando en una habitación con aire acondicionado frío (unos 3-4°C), 30 a 45 minutos antes del comienzo de la competición, vistiendo una chaqueta con hielos⁸⁸, pero manteniendo abrigados los músculos que van a participar activamente durante el ejercicio, o bien 2) introduciéndose en agua fría hasta la altura del cuello. Parece que es mejor hacer inmersión en agua fría que enfriarse en una habitación fría porque permite que la temperatura corporal y la de la piel disminuyan de modo más uniforme, rápido y progresivo que cuando se enfría con aire frío^{85,95}. Aunque se recomienda la inmersión con agua hasta el cuello, parece que lo más lógico sería mantener fuera del agua y sin enfriar los músculos que van a participar activamente durante el ejercicio (ejemplo: no meter las piernas en agua fría si se va a correr).

Es muy importante que la disminución de la temperatura corporal sea gradual para evitar que el deportista tenga escalofríos, porque dichos escalofríos se acompañan de una utilización significativa de glucógeno muscular necesario durante la competición⁸⁶. Por ejemplo, se recomienda que la temperatura inicial del agua sea de 28-29°C, y que se introduzca agua fría cada 5-10 minutos para reducir la temperatura del agua unos 2°C cada vez, sin descender nunca de una temperatura del agua de 23-24°C⁸⁶. También es muy importante que la temperatura corporal no descienda por debajo de 35.5-36°C porque si se enfría demasiado puede tener efectos negativos sobre la marca^{85,93}. Además, hay que tener en cuenta que la temperatura corporal suele continuar descendiendo durante los primeros minutos posteriores al final del enfriamiento (unos 0.3 a 0.5°C con respecto a los valores observados al final del enfriamiento), por lo que conviene retirar del agua al deportista cuando su temperatura corporal haya descendido a valores cercanos a 36-36.5°C^{85,89}. Entre el final del enfriamiento y el comienzo de la competición debería transcurrir el mínimo tiempo posible⁸⁶. Como se ha indicado anteriormente, no parece aconsejable realizar protocolos de enfriamiento previo antes de competir en ejercicios de corta duración (unos pocos segundos).

En muchas competiciones, como por ejemplo en los deportes de equipo, suele dividirse la competición en varias franjas similares de tiempo que están intercaladas por descansos de unos 10 a 15 minutos. Yeargin y col.⁹⁴ hicieron realizar en dos ocasiones diferentes a 15 atletas de fondo una carrera de 2 millas (unos 3.2 Kilómetros) en ambiente caluroso después de haberles hecho correr durante 90 minutos a baja intensidad y de dejarles 15 minutos de reposo entre los dos ejercicios. Durante esos 15 minutos de reposo, un día los sujetos descansaron sentados a temperatura ambiente, mientras que en la segunda ocasión los sujetos se enfriaron metiéndose en agua fría a 14°C durante 12 minutos. Los resultados del estudio muestran que cuando los deportistas se enfriaban durante el descanso, la temperatura corporal disminuía más durante el descanso y la marca deportiva en la carrera de 2 millas era mejor que cuando no se enfriaban. Este estudio sugiere que, cuando en deportes de equipo se compite en ambientes elevados, sería conveniente realizar protocolos de enfriamiento en el descanso del partido mediante inmersión en agua muy fría.

Si no se puede hacer inmersión en agua fría o en una habitación fría, se puede intentar llevar a cabo un enfriamiento previo tomando duchas muy frías o con toallas empapadas de agua muy fría, pero los efectos no serán tan pronunciados como los que se observan cuando se hace inmersión en agua fría o estancia en una habitación fría⁹⁶.

● **¿Es mejor no calentar antes de un ejercicio de larga duración realizado en ambiente caluroso?**

No se sabe⁹⁵. El sentido común sugiere que conviene ejercitar los músculos y las articulaciones que van a participar activamente durante el ejercicio. Es probable que cuando se ejercita en ambiente caluroso, el calentamiento debiera ser mucho más corto o realizarse en un lugar cerrado más frío. También es posible que sea conveniente hacer al mismo tiempo un calentamiento de los músculos que participan durante el ejercicio (ejemplo durante la carrera a pie) y un enfriamiento del resto del cuerpo (ejemplo: chalecos con hielos). Sin embargo, todo esto está por demostrar.



1.5 Recomendaciones para aclimatarse al ejercicio en ambiente caluroso

● Concepto de Aclimatación

La aclimatación al calor es un proceso complejo de adaptaciones del organismo que se produce cuando un individuo se ejercita frecuentemente en ambiente caluroso⁶. La aclimatación hace que el sujeto aclimatado mejore su capacidad para eliminar calor durante el ejercicio, soporte mejor el ejercicio en ambiente caluroso^{5,97} y disminuya el riesgo de tener un golpe de calor⁹⁷.

El objetivo de la aclimatación al calor es permitir que el organismo mejore sus mecanismos principales de refrigeración para permitirle soportar mejor el estrés térmico que se produce durante el ejercicio en ambiente cálido.

Los deportistas de disciplinas de larga duración deben aclimatarse. En las disciplinas de corta duración, el riesgo de que la temperatura corporal sea un factor limitante del rendimiento será menor, pero hoy en día, y más en los deportistas de alto nivel, los entrenamientos suelen ser bastante prolongados, por lo que también en estas disciplinas hay que conseguir un cierto grado de adaptación al calor¹.

● Beneficios de la aclimatación durante el ejercicio.

Los efectos de la aclimatación al calor son:

- Una disminución de la frecuencia cardiaca^{25,98}, de la temperatura rectal^{25,98}, de la temperatura de la piel^{25,39}, de la concentración muscular y sanguínea de lactato²⁵, de la utilización de glucógeno muscular^{99,100} y de la concentración sanguínea de adrenalina¹⁰⁰, y un aumento del volumen de sangre enviado por el corazón en cada latido²⁵, de la cantidad de sangre que circula por la piel²⁵ y de la capacidad de trabajo, durante el ejercicio.
- Un aumento del volumen de líquido de la sangre^{5,8,25}. Este aumento parece deberse a un aumento de la retención de agua y de sodio en la sangre²⁵ y hace que el organismo tenga más reservas de líquido, que circule más sangre por la piel y, por lo tanto, favorece la pérdida de calor entre la piel y el aire que está en contacto con ella. Esto permite retrasar el momento del ejercicio en el que disminuye la cantidad de sangre que llega a los músculos que se ejercitan⁵.
- El aumento del volumen líquido de la sangre se suele acompañar de una disminución paralela de la concentración sanguínea de Hemoglobina²⁵, de glóbulos rojos y del Hematocrito²⁵. Esta disminución no debe considerarse como negativa porque la cantidad total de Hemoglobina y de glóbulos rojos no suele disminuir con la aclimatación.
- Un aumento de la capacidad de producción de sudor²⁵, que puede llegar a doblarse¹⁰¹, hasta alcanzar valores cercanos a 3 litros por hora de ejercicio³. Como uno de los efectos de la aclimatación es aumentar la cantidad de sudor para que la temperatura corporal no suba en

exceso, los deportistas aclimatados pierden más líquido por el sudor durante el ejercicio que los no aclimatados. Por ello, deben beber más líquido que los no aclimatados⁹⁶. Además, durante el período de aclimatación, se deben tener especialmente en cuenta las recomendaciones dietéticas que se han dado en el apartado anterior⁴, porque si el deportista no se hidrata bien, tardará más en aclimatarse⁴ y porque durante las sesiones de entrenamiento se utiliza más glucógeno muscular por unidad de tiempo que en ambiente templado.

- Un adelanto del umbral de producción del sudor. Es decir, el organismo empieza a sudar a una temperatura corporal inferior a la del sujeto no aclimatado⁹⁷. También se observa una disminución cercana al 30-50%^{5,102} de la concentración en sales minerales del sudor y de la orina. Esto permite que el organismo retenga una mayor cantidad total de sales minerales en el organismo²⁵, pierda menos sales minerales por litro de sudor y que el sudor se evapore mejor.
- Una mejora de la eficiencia energética durante el ejercicio¹⁰³. Esto quiere decir que para una misma intensidad de ejercicio, el organismo necesita producir menos energía y menos calor después de aclimatarse¹⁰³.
- Una reducción del riesgo de sufrir un golpe de calor⁹⁷.

Se sabe que estos efectos positivos de la aclimatación se producen en ejercicios que provocan el agotamiento en más de 45 minutos. No se sabe cuales son los efectos de la aclimatación en ejercicios más intensos y más cortos⁴⁶.

● Lugar, tiempo y modo más adecuado para aclimatarse

Conviene aclimatarse al calor en lugares en los que las condiciones meteorológicas sean semejantes a las que habrá en Pekín, y no es necesario ni beneficioso que las condiciones sean más rigurosas (mayor temperatura o humedad relativa).

El tiempo necesario para la aclimatación al calor es de unos 8 a 14 días^{4,5,97}, pero no tienen que ser necesariamente las dos semanas previas a la competición. Algunos mecanismos se adaptan con mayor rapidez, como por ejemplo la frecuencia cardíaca (3-6 días)³⁹ o el aumento del volumen de líquido en la sangre (4-8 días)⁸, mientras que otros, como la capacidad para producir más sudor, tardan entre 8 y 14 días^{39,104}. La aclimatación se puede hacer varios meses antes de una competición, y después mantenerla realizando cada 8-10 días sesiones de entrenamiento o competición en ambientes calurosos.

La mejor manera de aclimatarse es ejercitarse en ambiente caluroso⁶. Durante el periodo de aclimatación se aconseja que se realicen las sesiones de entrenamiento de gran intensidad a primera hora de la mañana o a última hora de la tarde, dejando el momento de mayor calor del día para realizar una sesión de baja intensidad. Se ha visto que la aclimatación se produce de modo parecido si las sesiones con mayor calor ambiental se llevan a cabo a baja (50% de VO₂max) o a alta intensidad (75% de VO₂max)¹⁰³. Cada 3 ó 4 días se pueden introducir competiciones o ejercicios a ritmo de competición en las horas más calurosas, comenzando las primeras sesiones con 10-15



minutos de entrenamiento y aumentando este tiempo progresivamente hasta llegar a la duración de la competición. La duración total de cada sesión de entrenamiento de aclimatación al calor debería estar comprendida entre 30 y 100 minutos⁹⁶.

La aclimatación no debería hacerse en el momento en el que el deportista está llevando a cabo su puesta a punto o afinamiento, ya que la aclimatación supone una carga de adaptación para el organismo.

● **Duración de los efectos de la aclimatación**

Se considera que si se vuelve a un clima más templado o frío y no se realiza ninguna sesión en ambiente caluroso, los efectos de la aclimatación se pierden en 2 a 4 semanas^{3,8,97}. Se cree que los efectos de la aclimatación pueden mantenerse durante varios meses si, después de haber realizado un primer período de aclimatación de unas 2 semanas, el deportista hace una sesión de entrenamiento en ambiente caluroso cada 8 o 10 días⁵. Otros sostienen que para no perder los efectos de la aclimatación al calor, se realicen durante el invierno ciclos de entrenamiento de 1-2 semanas en regiones calurosas.

● **Aclimatación sin viajar a un país de clima caluroso**

Si no es posible entrenarse o hacer estancias en lugares calurosos, conviene hacer alguna sesión semanal de entrenamiento vistiendo más cantidad de ropa de la normal, pero permitiendo la posibilidad de airear el organismo para favorecer la evaporación del sudor (no usar chubasquero). También puede hacerse tomando saunas⁵, aunque lo que parece más conveniente es realizar sesiones de ejercicio en locales cerrados con temperatura y humedad relativa similares a las que se encontrarán los deportistas cuando compitan en ambientes calurosos^{5,96}.

Se cree que es suficiente con realizar unas 10 sesiones de entrenamiento en estas condiciones para conseguir los principales beneficios de la aclimatación al calor⁹⁶. Estos beneficios son similares si las sesiones se llevan a cabo diariamente durante 10 días o repartidas cada 2 ó 3 días a lo largo de un mes⁹⁶.

● **Componente individual de la aclimatación**

Hay que tener en cuenta que la capacidad para producir sudor varía mucho de un individuo a otro. Hay incluso algunos individuos que no producen sudor⁵. Es evidente que aquellos individuos que producen genéticamente poco sudor, se adaptan peor al ejercicio en ambiente caluroso⁵. También hay individuos que no toleran el calor excesivo aunque pasen largos periodos de tiempo en ambientes calurosos. Estos sujetos no competirán bien en estas condiciones. En general, parece que los deportistas que han pasado su infancia en una región con clima caluroso y seco tienen más capacidad para producir sudor y para adaptarse al calor que los que se criaron en ambientes templados o fríos, o en ambientes con elevada humedad relativa⁵. Por último, aunque un deportista se haya aclimatado bien al calor,

puede haber variaciones diarias en su capacidad para tolerarlo. Por ejemplo, el calor se tolera peor cuando el deportista tiene una infección o está muy cansado o sobrentrenado.

1.6 En resumen

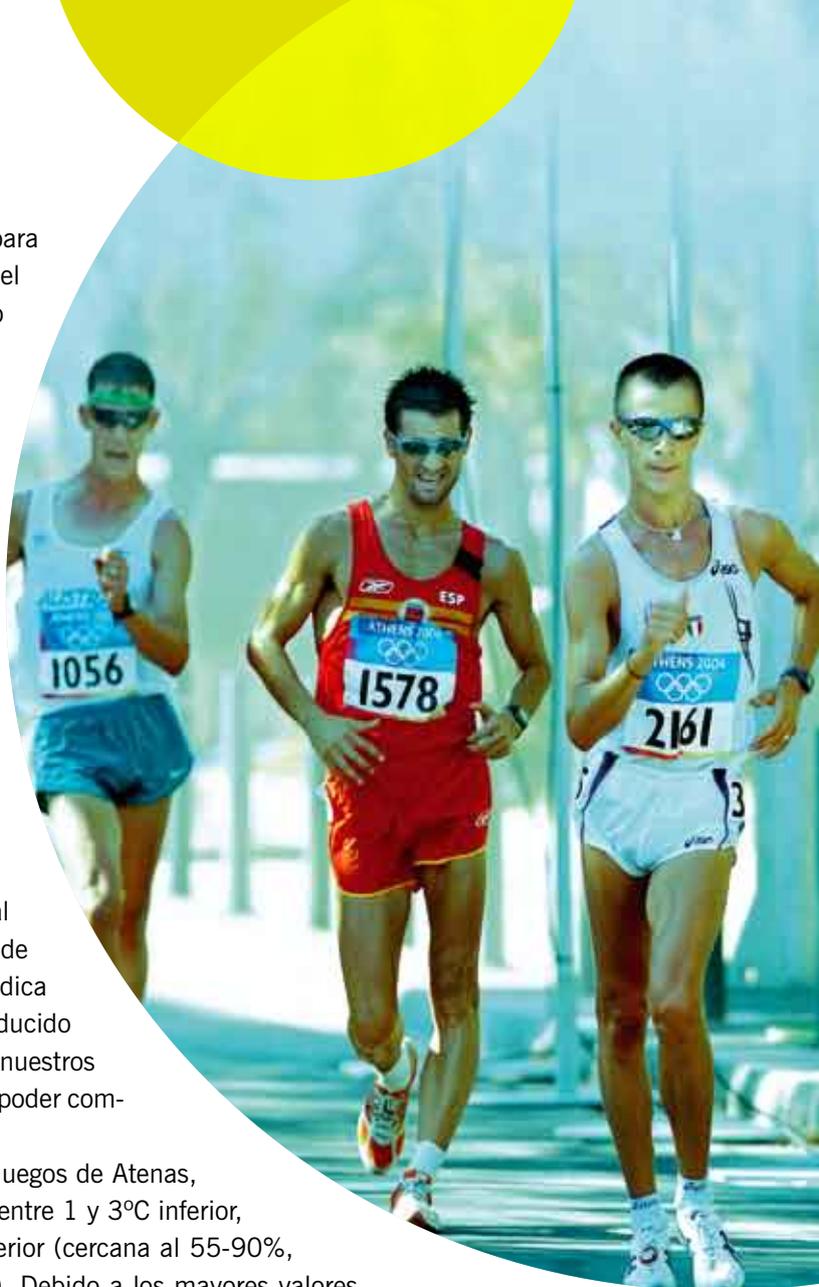
En resumen, se pueden dar las siguientes sugerencias:

● Condiciones ambientales de Pekín

- Las previsiones indican que las temperaturas medias que se darán en Pekín durante los Juegos estarán comprendidas entre los 25°C y los 30°C, con una humedad relativa media cercana al 55-90%, aunque las temperaturas pueden oscilar de un día para otro de los 18°C a los 38°C. Esto indica que existirán dificultades para eliminar el calor producido durante el esfuerzo y que será conveniente que nuestros deportistas se aclimaten a dichas condiciones para poder competir con éxito.
- Comparado con las condiciones climáticas de los Juegos de Atenas, la temperatura media ambiental en Pekín va a ser entre 1 y 3°C inferior, pero la humedad relativa media va a ser muy superior (cercana al 55-90%, comparada con los valores de 30-40% de Atenas). Debido a los mayores valores de humedad relativa, en Pekín se podrá eliminar algo menos calor que en Atenas porque se podrá evaporar menos sudor. Las condiciones ambientales que se vayan a dar en Pekín serán probablemente muy similares a las que se dieron en Atlanta'96 o en Barcelona'92.

● Ejercicio en ambiente caluroso cuando no se ingieren líquidos

- Cuando las condiciones ambientales son calurosas, la temperatura del organismo comienza a aumentar de modo brusco durante el ejercicio. Para evitar un aumento excesivo de dicha temperatura, el organismo comienza a sudar con profusión para eliminar calor. El líquido del sudor proviene de la sangre.
- Para compensar la pérdida de líquido y mantener la cantidad de sangre que el corazón envía cada minuto a los músculos que se ejercitan, el corazón se adapta aumentando su frecuencia cardiaca y enviando menos sangre a otros órganos.





- Sin embargo, llega un momento en el que el organismo pierde tanto líquido por el sudor que comienza a disminuir la cantidad de sangre que llega a los músculos que se ejercitan y a la piel, con lo que la temperatura corporal aumenta excesivamente (por encima de 39.5-40°C). Esto tiene consecuencias negativas sobre el organismo y sobre la marca deportiva en los ejercicios que duran más de 4 - 7 minutos. Además, si el organismo se deshidrata excesivamente se puede producir el denominado “golpe de calor” que es un problema de salud grave.
- La mejor manera de atenuar lo más posible los efectos negativos del ejercicio en ambiente caluroso son: una buena dieta (reposición de lo perdido durante el ejercicio), enfriar el cuerpo antes de empezar el ejercicio, llevar a cabo una buena aclimatación, realizar un buen entrenamiento y disminuir la grasa corporal.

● **Recomendaciones dietéticas para el ejercicio en ambiente caluroso**

- Es conveniente medir por la mañana, en ayunas, el grado de hidratación de los deportistas para detectar posibles estados de deshidratación e intentar corregirlos rápidamente. La manera más sencilla, aunque también más inexacta, de estimar la deshidratación es controlando la evolución diaria del peso corporal. Otros métodos más precisos, pero más molestos, miden una de las siguientes características o variables de la orina: el volumen, el color, la gravedad específica, la osmolaridad ó la conductividad. De este modo se puede asegurar que los deportistas están bien hidratados antes de empezar un ejercicio. Por ejemplo, se puede medir el color de la orina y compararlo con una tabla de colores de referencia que se publica en Internet (<http://www.topendsports.com/testing/tests/urine-color.htm>).
- Durante la hora previa al comienzo de la competición es conveniente tomar cerca de medio litro de líquido, dividida en 4 tomas cada 15 minutos. Dicho líquido debería contener sales minerales. Si el ejercicio va a durar más de 1 hora, también es recomendable ingerir hidratos de carbono, especialmente en las dos últimas tomas.
- Durante la competición o entrenamiento intenso de más de 1 hora de duración, se recomienda beber hasta unos 6 a 8 mililitros de líquido, por kilogramo de peso corporal y por hora de ejercicio (unos 420 a 560 mililitros por hora, para una persona de 70 Kg de peso corporal), en sorbos de 100 a 200 mililitros cada 15 minutos, de una bebida isotónica fresca (a unos 15-21°C), que contenga de 40 a 80 gramos de hidratos de carbono por litro de líquido, una concentración de sodio de 30-50 milimoles por litro de líquido y otros electrolitos como cloro y potasio. Cuando las condiciones ambientales son muy calurosas, se recomienda que la bebida contenga una menor cantidad de hidratos de carbono y de sales minerales para favorecer una mayor velocidad de paso desde el aparato digestivo hasta la sangre.



- Conviene ingerir estos líquidos cuando se tenga sensación de sed, y se debe evitar tener al final del ejercicio un peso corporal igual o superior al que se tenía antes de comenzar el ejercicio. Parece que lo ideal es perder alrededor de un 1 a un 2% del peso corporal en ejercicios de larga duración. No es conveniente tomar mayores cantidades de hidratos de carbono o de líquido porque pueden producir molestias intestinales y porque existe un riesgo importante cuando se beben excesivas cantidades de líquido durante el ejercicio: la hiponatremia o disminución de la concentración de sodio en sangre, que es una urgencia médica grave.
- ¡Atención! Estas recomendaciones son válidas para la mayoría de los deportistas, pero puede haber sujetos que no toleren ingerir tanto líquido. Por lo tanto, es imprescindible que cada uno vaya probando poco a poco estas recomendaciones durante los entrenamientos o en competiciones poco importantes hasta encontrar lo más conveniente para uno mismo.
- Durante los ejercicios comprendidos entre 4 minutos y 1 hora es difícil alimentarse durante la competición. Es más recomendable alimentarse previamente y, sobre todo, al terminar el ejercicio.
- Durante las primeras horas posteriores a la competición es muy importante rehidratarse y recuperar lo más rápidamente posible las reservas energéticas utilizadas durante el ejercicio. Para estimar el grado de deshidratación, conviene pesarse antes, nada más terminar la competición y al día siguiente al levantarse. Si la pérdida de peso durante la competición ha sido inferior al 2% del peso corporal, basta con beber cuando se tenga sed. Pero si la pérdida de peso es superior al 2% del peso corporal, conviene beber aunque no se tenga sed y echar más sal de lo normal a los alimentos. Conviene que el líquido y los alimentos sólidos ingeridos contengan cantidades elevadas de hidratos de carbono (cerca de 1 gramo de hidratos de carbono por kilogramo de peso y por hora durante las primeras horas de recuperación y un total de 7-10 gramos de hidratos de carbono por kilogramo de peso y por día). No se recomienda ingerir bebidas que tengan cafeína o bebidas sodadas porque favorecen la eliminación de líquido por el sudor.
- Como recomendación general, es conveniente aumentar la ingestión de proteínas y de vitaminas antioxidantes porque parece que en ambiente caluroso se utilizan más proteínas y se producen más radicales libres.

● **Enfriamiento previo al ejercicio en ambiente caluroso**

- Los resultados de trabajos experimentales muestran que el enfriamiento previo a la competición, mediante inmersión en agua fría, mejora la marca deportiva en ejercicios de duración superior a 20 minutos, realizados en ambiente caluroso. Las ventajas del enfriamiento previo son mayores cuanto mayor sea la temperatura ambiental y la humedad relativa.
- Lo más recomendable para enfriarse antes de la competición es: 1) o bien estar en una habitación con aire acondicionado frío (unos 3-4°C), 30 a 45 minutos antes del comienzo de la competición, vistiendo una chaqueta con hielos, pero manteniendo abrigados los músculos que van a participar activamente durante el ejercicio, o bien 2) introduciéndose en agua fría hasta la altura del cuello. La disminución de la temperatura corporal debe ser gradual, comenzando con una temperatura del agua de 28-29°C, reduciendo la temperatura del agua unos 2°C cada 5 a 10 minutos, sin descender nunca de una temperatura del agua de 23-24°C, retirando del agua al deportista cuando



su temperatura corporal haya descendido a valores de 36-36.5°C. También parece interesante realizar protocolos de enfriamiento durante el descanso de una competición, si su duración es de, al menos, 15 minutos.

- Si no existe la posibilidad de hacer una inmersión en agua fría o de estar en una habitación a baja temperatura, se puede intentar llevar a cabo un enfriamiento previo tomando duchas muy frías o con toallas empapadas de agua muy fría, pero los efectos no serán tan pronunciados como los que se observan cuando se hace inmersión en agua fría o estancia en una habitación fría.
- Antes de realizar un enfriamiento previo a una competición importante, conviene probarlo en entrenamientos o en competiciones de menor nivel.

● **Recomendaciones para aclimatarse al ejercicio en ambiente caluroso**

- La aclimatación al calor es una adaptación del organismo al ejercicio en ambiente caluroso. Para lograr dicha adaptación el deportista debe ejercitarse frecuentemente en ambiente caluroso.
- El objetivo de la aclimatación al calor es permitir que el organismo mejore sus mecanismos principales de refrigeración para permitirle soportar mejor el estrés térmico que se produce durante el ejercicio en ambiente cálido. La aclimatación hace que el deportista mejore su capacidad para eliminar calor durante el ejercicio, soporte mejor el ejercicio en ambiente caluroso, disminuya el riesgo de tener un golpe de calor y mejore su marca deportiva en ambiente caluroso.
- Los deportistas que más se benefician de la aclimatación son los que practican disciplinas de larga duración. En los deportes de corta duración, el riesgo de que la temperatura corporal sea un factor limitante del rendimiento será menor, pero hoy en día, y más en los deportistas de alto nivel, los entrenamientos suelen ser bastante prolongados, por lo que también en estos deportistas hay que conseguir un cierto grado de adaptación al calor específica a sus necesidades.
- Conviene aclimatarse al calor y a la humedad en lugares en los que las condiciones meteorológicas sean semejantes a las que habrá en Pekín. No es necesario ni beneficioso que las condiciones sean más rigurosas (mayor temperatura o humedad relativa).
- El tiempo necesario para la aclimatación al calor es de unos 8 a 14 días, pero no tienen que ser necesariamente las dos semanas previas a la competición. Se puede hacer varios meses antes de una competición, y después mantenerla realizando cada 8-10 días sesiones de entrenamiento o competición en ambientes calurosos.
- Durante el periodo de aclimatación se aconseja que se realicen las sesiones de entrenamiento de gran intensidad a primera hora de la mañana o a última hora de la tarde, dejando el momento de mayor calor del día para realizar una sesión de baja intensidad. Se ha visto que la aclimatación se produce de modo parecido si las sesiones con mayor calor ambiental se llevan a cabo a baja o a alta intensidad. Cada 3 ó 4 días se pueden introducir competiciones o ejercicios a ritmo de competición en las horas más calurosas, comenzando las primeras sesiones con 10-15 minutos de entrenamiento y aumentando este tiempo progresivamente hasta llegar a la duración de la competición. La duración total de cada sesión de entrenamiento de aclimatación al calor debería estar comprendida entre 30 y 100 minutos.
- Si no es posible entrenarse y vivir en lugares calurosos, lo más conveniente es realizar sesiones de ejercicio en locales cerrados con temperatura y humedad relativa similares a las que se en-

contrarán los deportistas cuando compitan en ambientes calurosos. Se cree que con 10 sesiones de entrenamiento durante 10 días seguidos o repartidas cada 2 ó 3 días a lo largo de un mes se consigue una buena aclimatación.

- La aclimatación no debería hacerse en el momento en el que el deportista está llevando a cabo su puesta a punto o afinamiento, ya que la aclimatación supone una carga suplementaria de adaptación para el organismo.
- Si no es posible entrenarse y vivir en lugares calurosos, conviene hacer alguna sesión semanal de entrenamiento vistiendo más cantidad de ropa de la normal, pero permitiendo la posibilidad de airear el organismo para favorecer la evaporación del sudor (no usar chubasquero ni plásticos). También puede hacerse tomando saunas o haciendo ejercicio en locales cerrados con elevada temperatura.
- Durante el período de aclimatación, se deben tener especialmente en cuenta las recomendaciones dietéticas que se han dado anteriormente, porque si el deportista no se hidrata bien, tardará más en aclimatarse y porque durante las sesiones de entrenamiento se utilizará más glucógeno muscular por unidad de tiempo que en ambiente templado.
- Se considera que si se vuelve a un clima más templado o frío y no se realiza ninguna sesión en ambiente caluroso, los efectos de la aclimatación se pierden en 2 a 4 semanas. Se cree que los efectos de la aclimatación pueden mantenerse durante varios meses si, después de haber realizado un primer período de aclimatación de unas 2 semanas, el deportista hace una sesión de entrenamiento en ambiente caluroso cada 8 o 10 días.
- No todos los deportistas que realicen este tipo de aclimatación van a adaptarse de igual manera. Hay que tener en cuenta que la capacidad para producir sudor varía mucho de un individuo a otro y que los deportistas que sudan poco, se aclimatarán peor que los que sudan mucho. También hay individuos que no toleran el calor excesivo aunque pasen largos periodos de tiempo en ambientes calurosos. Estos sujetos no competirán bien en estas condiciones. Por último, aunque un deportista se haya aclimatado bien al calor, puede haber variaciones diarias en su capacidad para tolerarlo. Por ejemplo, el calor se tolera peor cuando el deportista tiene una infección o está muy cansado o sobreentrenado.





BIBLIOGRAFÍA

- 1. González Badillo JJ, Gorostiaga E, Leivar X, Olivé R, Padilla S, Rubio S, Terrados N, Llanos M. Adaptación a las condiciones climáticas y horarias de "Atlanta'96". (1994).
- 2. Gorostiaga E. Adaptación Al Ejercicio En Ambiente Caluroso. En :Comité Olímpico Español, Madrid, (2004).
- 3. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology. (Williams & Wilkins, Baltimore, (1996).
- 4. Sparling PB, Millard-Stafford M. Keeping sports participants safe in hot weather. *The Physic. Sports Med.* 27(7) (1999).
- 5. Péronnet F, Thibault G, Ledoux M, Brisson GR. Le marathon. Équilibre énergétique, alimentation et entraînement du coureur sur route. (Ed. Décarie et Vigot, Québec, 1991).
- 6. Wilmore DW, Costill D. Thermal Regulation and Exercise. En *Physiology of Sport and Exercise*, First ed. edited by Human Kinetics (Human Kinetics, Champaign, 1994), pp.240-265.
- 7. Nielsen B. Olympics in Atlanta: a fight against physics. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(6), 665 (1996).
- 8. Senay, Jr. LC. Effects of exercise in the heat on body fluid distribution. *Med. Sci. Sports* 11(1), 42 (1979).
- 9. Galloway SD, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29(9), 1240 (1997).
- 10. Gonzalez-Alonso J, Calbet JA, Nielsen B. Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J. Physiol.* 513 (Pt 3), 895 (1998).
- 11. Marino FE, Mbambo Z, Kortekaas E, Wilson G, Lambert MI, Noakes TD, Dennis SC. Advantages of smaller body mass during distance running in warm, humid environments. *Pflugers Arch.* 441(2-3), 359 (2000).
- 12. Parkin JM, Carey MF, Zhao S, Febbraio MA. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 86(3), 902 (1999).
- 13. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Coyle EF. Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am. J. Physiol Heart Circ. Physiol.* 278(2), H321-H330 (2000).
- 14. Young AJ, Sawka MN, Levine L, Cadarette BS, Pandolf KB. Skeletal muscle metabolism during exercise is influenced by heat acclimation. *J. Appl. Physiol.* 59, 1929 (1985).
- 15. Drust B, Rasmussen P, Mohr M, Nielsen B, Nybo L. Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiol Scand.* 183(2), 181 (2005).
- 16. Jentjens RL, Wagenmakers AJ, Jeukendrup AE. Heat stress increases muscle glycogen use but reduces the oxidation of ingested carbohydrates during exercise. *J. Appl. Physiol.* 92(4), 1562 (2002).
- 17. Febbraio MA. Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat? *Exerc. Sport Sci. Rev.* 28(4), 171 (2000).
- 18. Fink WJ, Costill DL, Van Handel PJ. Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 34, 183 (1975).
- 19. Bridge MW, Weller AS, Rayson M, Jones DA. Ambient temperature and the pituitary hormone responses to exercise in humans. *Exp. Physiol.* 88(5), 627 (2003).
- 20. Gonzalez-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 86(3), 1032 (1999).

- 21. Nielsen B, Hyldig T, Bidstrup F, González-Alonso J, Christoffersen GRJ. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflügers Arch. -Eur. J. Physiol.* 442, 41 (2001).
- 22. Febbraio MA, Murton P, Selig SE, Carey MF. Effect of CHO ingestion on exercise metabolism and performance in different ambient temperatures. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(11), 1380 (1996).
- 23. Cheung SS, Sleivert GG. Multiple triggers for hyperthermic fatigue and exhaustion. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 32(3), 100 (2004).
- 24. Nielsen B, Savard G, Richter EA, Hargreaves M, Saltin B. Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *J. Appl. Physiol.* 69(3), 1040 (1990).
- 25. Nielsen B, Hales JRS, Strange S, Christensen KJ, Warbeg J, Saltin B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J. Physiol.* 460, 467 (1993).
- 26. McLellan TM. The importance of aerobic fitness in determining tolerance to uncompensable heat stress. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 128(4), 691 (2001).
- 27. Backx K, McNaughton L, Crickmore L, Palmer G, Carlisle A. Effects of differing heat and humidity on the performance and recovery from multiple high intensity, intermittent exercise bouts. *Int. J. Sports Med.* 21(6), 400 (2000).
- 28. Linnane DM, Bracken RM, Brooks S, Cox VM, Ball D. Effects of hyperthermia on the metabolic responses to repeated high-intensity exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 93(1-2), 159 (2004).
- 29. Sargeant AJ. Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur. J. Appl. Physiol Occup. Physiol.* 56(6), 693 (1987).
- 30. Mohr M, Rasmussen P, Drust B, Nielsen B, Nybo L. Environmental heat stress, hyperammonemia and nucleotide metabolism during intermittent exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 97(1), 89 (2006).
- 31. Gonzalez-Alonso J, Calbet JA. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation* 107(6), 824 (2003).
- 32. Arngrimsson SA, Pettitt DS, Borrani F, Skinner KA, Cureton KJ. Hyperthermia and maximal oxygen uptake in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92(4-5), 524 (2004).
- 33. Sawka MN, Montain SJ, Latzka WA. Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 128(4), 679 (2001).
- 34. Maughan RJ, Merson SJ, Broad NP, Shirreffs SM. Fluid and electrolyte intake and loss in elite soccer players during training. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14(3), 333 (2004).
- 35. Wyndham CH. Heat stroke and hyperthermia in marathon runners. *Ann.Nw York Acad.Sci.* 301, 128 (1977).
- 36. Walsh RM, Noakes TD, Hawley JA, Dennis SC. Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int. J. Sports Med.* 15(7), 392 (1994).
- 37. Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17(4), 456 (1985).
- 38. Shirreffs SM, Maughan RJ. Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(11), 1598 (1999).
- 39. Fortney SM, Senay, Jr. LC. Effect of training and heat acclimation on exercise responses of sedentary females. *J. Appl. Physiol.* 47(5), 978 (1979).



- 40. Marino FE, Lambert MI, Noakes TD. Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *J. Appl. Physiol.* 96(1), 124 (2004).
- 41. González-Alonso J, Coyle EF. Efectos Fisiológicos De La Deshidratación. ¿Por Qué Los Deportistas Deben Ingerir Líquidos Durante El Ejercicio En Calor? En Comité Olímpico Español. Madrid, 21-22 de noviembre de 2003, pp.13-19.
- 42. Below PR, Mora-Rodríguez R, González-Alonso J, Coyle EF. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during high intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27(2), 200 (1995).
- 43. M. Echegaray, Armstrong LE, Maresh CM, Riebe D, Kenefick RW, Castellani JW, Kavouras S., Blood glucose responses to carbohydrate feeding prior to exercise in the heat: effects of hypohydration and rehydration. *Int. J. Sports Nutr. & Exerc. Metabolism* 11(1), 72 (2001).
- 44. Noakes TD. Fluid replacement during exercise. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 21, 297 (1993).
- 45. Montain SJ, Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73(4), 1340 (1992).
- 46. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J. Appl. Physiol.* 82(4), 1229 (1997).
- 47. Shirreffs SM, Armstrong LE, Cheuvront SN. Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *J. Sports Sci.* 22(1), 57 (2004).
- 48. American College of Sports Medicine. Exercise and Fluid replacement. *Med. Sci. Sports Med.* 80(1), I-VII (1996).
- 49. Kutlu M, Guler G. Assessment of hydration status by urinary analysis of elite junior taekwon-do athletes in preparing for competition. *J. Sports Sci.* 24(8), 869 (2006).
- 50. Oppliger RA, Bartok C. Hydration testing of athletes. *Sports Med.* 32(15), 959 (2002).
- 51. Oppliger RA, Magnes SA, Popowaki LA, Gisolfi CV. Accuracy of urine specific gravity and osmolality as indicators of hydration status. *Int. J. Sport Nutr.* 15(236), 251 (2005).
- 52. Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, Montain SJ, Reiff RV, Rich BSE, Roberts WO, Stone JA. National Athletic Trainers' Association position statement: fluid replacement for athletes. *J. Athletic Training* 35(2), 212 (2000).
- 53. Yeargin SW, Casa DJ, Armstrong LE, Watson G, Judelson DA, Psathas E, Sparrow SL. Heat acclimatization and hydration status of American football players during initial summer workouts. *J. Strength Cond. Res.* 20(3), 463 (2006).
- 54. Gisolfi CV, Copping JR. Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med. Sci. Sports* 6(2), 108 (1974).
- 55. McConnel GK, Stephens TJ, Canny BJ. Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31(3), 386 (1999).
- 56. Burke LM. Nutritional needs for exercise in the heat. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 128(4), 735 (2001).
- 57. Kavouras SA, Armstrong LE, Maresh CM, Casa DJ, Herrera-Soto JA, Scheett TP, Stoppani J, Mack GW, Kraemer WJ. Rehydration with glycerol: endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory responses during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 100(2), 442 (2006).
- 58. Scheett TP, Webster MJ, Wagoner KD. Effectiveness of glycerol as a rehydrating agent. *Int. J. Sports Nutr. & Exerc. Metabolism* 11, 63 (2001).
- 59. Latzka WA, Sawka MN. Hyperhydration and glycerol: thermoregulatory effects during exercise in hot climates. *Can. J. Appl. Physiol.* 25(6), 536 (2000).

- 60. Tourtellotte WW, Reinglass JL, Newkirk TA. Cerebral dehydration action of glycerol. I. Historical aspects with emphasis on the toxicity and intravenous administration. *Clin. Pharmacol. Ther.* 13(2), 159 (1972).
- 61. Maughan RJ, Fenn CE, Leiper JB. Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 58(5), 481 (1989).
- 62. Maughan RJ. Food and fluid intake during exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* 26, S71-S78 (2001).
- 63. Hew-Butler T, Verbalis JG, Noakes TD. Updated fluid recommendation: position statement from the International Marathon Medical Directors Association (IMMDA). *Clin. J. Sport Med.* 16(4), 283 (2006).
- 64. Saunders AG, Dugas JP, Tucker R, Lambert MI, Noakes TD. The effects of different air velocities on heat storage and body temperature in humans cycling in a hot, humid environment. *Acta Physiol. Scand.* 183(3), 241 (2005).
- 65. Armstrong LE. Exertional hyponatremia. *J. Sports Sci.* 22(1), 144 (2004).
- 66. Noakes T. Fluid replacement during marathon running. *Clin. J. Sport Med.* 13(5), 309 (2003).
- 67. Noakes TD, Goodwin N, Rayner BL, Branken T, Taylor RK. Water intoxication: a possible complication during endurance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17(3), 370 (1985).
- 68. Stofan JR, Zachwieja JJ, Horswill CA, Murray R, Anderson SA, Eichner ER. Sweat and sodium losses in NCAA football players: a precursor to heat cramps? *Int. J. Sport Nutr.* 15, 641 (2005).
- 69. Daries HN, Noakes TD, Dennis SC. Effect of fluid intake volume on 2-h running performances in a 25 degrees C environment. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(10), 1783 (2000).
- 70. Chevront SN, Haymes EM. Thermoregulation and marathon running. Biological and environmental influences. *Sports Med.* 31(10), 743 (2001).
- 71. Noakes TD, Adams BA, Myburgh KH, Greeff C, Lotz T, Nathan M. The danger of an inadequate water intake during prolonged exercise. A novel concept re-visited. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 57(2), 210 (1988).
- 72. Lang F, Ritter M, Volk H, Haussinger D. The biological significance of cell volume. *Ren. Physiol. Biochem.* 16(1-2), 48 (1993).
- 73. Maughan RJ, Owen JH, Shirreffs SM, Leiper JB. Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 69(3), 209 (1994).
- 74. Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB. Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(10), 1260 (1999).
- 75. Maughan RJ, Owen JH, Shirreffs SM, Leiper JB. Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 69(3), 209 (1994).
- 76. Bilzon JL, Allsopp AJ, Williams C. Short-term recovery from prolonged constant pace running in a warm environment: the effectiveness of a carbohydrate-electrolyte solution. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 82(4), 305 (2000).
- 77. Nagra IS. Intravenous versus oral rehydration. *Br. J. Sports Med.* 32(3), 265 (1998).
- 78. Casa DJ, Maresh CM, Armstrong LE, Kawachi I, Herrera JA, Hacker Jr. FT, Keith NR, Elliott T. Intravenous versus oral rehydration during a brief period: responses to subsequent exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(1), 124 (2000).
- 79. Maresh CM, Herrera-Soto JA, Armstrong LE, Casa DJ, Kavouras SA, Hacker Jr. FT, Elliott TA, Stoppani J, Scheett TP. Perceptual responses in the heat after brief intravenous versus oral rehydration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(6), 1039 (2001).



- 80. Slater GJ, Rice AJ, Sharpe K, Tanner R, Jenkins D, Gore CJ, Hahn AG. Impact of acute weight loss and/or thermal stress on rowing ergometer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37(8), 1387 (2005).
- 81. Tatterson AJ, Hahn AG, Martin DT, Febbraio MA. Effects of heat stress on physiological responses and exercise performance in elite cyclists. *J. Sci. Med. Sport* 3(2), 186 (2000).
- 82. Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, Flakoll PJ. Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am. J. Physiol Endocrinol. Metab.* 280(6), E982-E993 (2001).
- 83. Noakes T. IMMDA Advisory Statement on Guidelines for Fluid Replacement During Marathon Running. (2003), pp.1-12. <http://www.usatf.org/groups/Coaches/library/hydration/IMMDAAdvisoryStatement.pdf>.
- 84. Costill DL, Kammer WF, Fisher A. Fluid ingestion during distance running. *Arch. Environ. Health* 31, 520 (1970).
- 85. Marino FE. Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. *Br. J. Sports Med.* 36(2), 89 (2002).
- 86. Booth J, Marino F, Ward JJ. Improved running performance in hot humid conditions following whole body precooling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29(7), 943 (1997).
- 87. Kay D, Taaffe DR, Marino FE. Whole-body pre-cooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid conditions. *J. Sports Sci.* 17, 937 (1999).
- 88. Cotter JD, Sleivert G.G., Roberts WS, Febbraio MA. Effect of pre-cooling, with and without thigh cooling, on strain and endurance exercise performance in the heat. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 128(4), 667 (2001).
- 89. Hasegawa H, Takatori T, Komura T, Yamasaki M. Combined effects of pre-cooling and water ingestion on thermoregulation and physical capacity during exercise in a hot environment. *J. Sports Sci.* 24(1), 3 (2006).
- 90. Castle PC, MacDonald AL, Philp A, Weborn A, Watt PW, Maxwell NS. Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *J. Appl. Physiol* 100(4), 1377 (2006).
- 91. Sleivert GG, Cotter JD, Roberts WS, Febbraio MA. The influence of whole-body vs. torso pre-cooling on physiological strain and performance of high-intensity exercise in the heat. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 128(4), 657 (2001).
- 92. Marsh D, Sleivert G. Effect of precooling on high intensity cycling performance. *Br. J. Sports Med.* 33(6), 393 (1999).
- 93. Bergh U, Ekblom B. Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. *J. Appl. Physiol.* 46(5), 885 (1979).
- 94. Yeargin SW, Casa DJ, McClung JM, Knight JC, Healey JC, Goss PJ, Harvard WR, Hipp GR. Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *J. Strength Cond. Res.* 20(2), 383 (2006).
- 95. Quod MJ, Martin DT, Laursen PB. Cooling Athletes before Competition in the Heat : Comparison of Techniques and Practical Considerations. *Sports Med.* 36(8), 671 (2006).
- 96. Maughan R, Shirreffs S. Exercise in the heat: challenges and opportunities. *J. Sports Sci.* 22, 917 (2004).
- 97. Armstrong LE, Stoppani J. Central nervous system control of heat acclimation adaptations: an emerging paradigm. *Rev. Neurosci.* 13(3), 271 (2002).
- 98. King DS, Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M, Fielding RA. Muscle metabolism during exercise in the heat in unacclimatized and acclimatized humans. *J. Appl. Physiol.* 59(5), 1350 (1985).

- 99. Kirwan JP, Costill DL, Kuipers H, Burrell MJ, Fink WJ, Kovanen V, Fielding RA. Substrate utilization in leg muscle of men after heat acclimation. *J. Appl. Physiol.* 63, 31 (1987).
- 100. Febbraio MA, Snow RJ, Hargreaves M, Stathis CJ, Martin IK, Carey MF. Muscle metabolism during exercise and heat stress in trained men: effect of acclimation. *J. Appl. Physiol.* 76(2), 589 (1994).
- 101. Joubert F, Mazet JL, Mateo P, Hoerter JA. Cardiac creatine kinase metabolite compartments revealed by NMR magnetization transfer spectroscopy and subcellular fractionation. *Biochemistry* 40(7), 2129 (2001).
- 102. Gleeson TT, Dalessio PM. Lactate a substrate for substrate for reptilian muscle gluconeogenesis following exhaustive exercise. *J. Exp. Zool.* 242(3), 283 (1990).
- 103. Houmard JA, Costill DL, Davis JA, Mitchell JB, Pascoe DD, Robergs RA. The influence of exercise intensity on heat acclimation in trained subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22(5), 615 (1990).
- 104. Palmer GS, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA. Assessment of the Reproducibility of Performance Testing on an Air-Braked Cycle Ergometer. *Int. J. Sports Med.* 17(4), 293 (1996).

Adaptación al cambio horario entre España y China

2



2.1 La diferencia horaria con Pekín. Jet lag

El gran número de competiciones que se desarrollan en los 5 continentes y la necesidad de encontrar condiciones climáticas y de altitud que permitan adaptaciones y entrenamientos de calidad, hace que las grandes figuras del deporte se vean obligadas a largos viajes con el consiguiente cambio de horario que altera sus ritmos biológicos. Ello hace que el estudio de estas distorsiones sea un tema de máxima actualidad, ya que en muchas ocasiones no se dispone del tiempo de adaptación suficiente al nuevo horario del país de destino.

Las perturbaciones sobre la homeostasis del cuerpo que se producen cuando realizamos un viaje que cruza diferentes zonas horarias es lo que llamamos Jet Lag¹. Estas alteraciones se deben a la pérdida de sincronismo entre nuestros ritmos endógenos y los ritmos exógenos de la nueva zona horaria (por ejemplo el ciclo luz/oscuridad), que perdura hasta que se produce el acoplamiento de ambos ritmos. Este desajuste se traduce en una serie de alteraciones:

fundamentalmente en dificultad para conciliar y mantener el sueño (60-70%), dificultad para concentrarse, irritabilidad, fatiga, desorientación tiempo-espacio-distancia, mareos, pérdida del apetito, falta de motivación y trastornos gastrointestinales. La mayor preponderancia de los síntomas depende de cada individuo, del tipo de actividad que deba realizar y del momento del día en que hagamos la pregunta al deportista (por la mañana predominarán los problemas con el sueño, mientras que al mediodía será la dificultad para concentrarse)².

La diferencia horaria entre nuestro país y China es de 6 horas, es decir, que cuando en China son las 22 horas, en España son las 16 horas y cuando allí son las 8 de la mañana aquí son las 2 de la madrugada. En horario solar, la diferencia es de 8 horas, porque en China la hora oficial es la misma que la hora solar, mientras que en España la hora oficial es 2 horas más tarde que la hora solar en verano (a las 2 de la tarde hora oficial son las 12 del mediodía hora solar).



Las 6 horas de diferencia horaria entre China y España ocasionarán una serie de alteraciones que pueden afectar a nuestros deportistas y que pueden disminuir la calidad de su entrenamiento o su rendimiento en competición. Es difícil saber con exactitud la verdadera repercusión que tiene esta pérdida de sincronismo sobre la capacidad de rendimiento deportivo, al igual que cuesta valorar cual es la influencia del ejercicio físico sobre los “relojes biológicos”^{3,4}. A este desajuste del reloj interno deberemos añadir el cansancio que produce un viaje largo, debido tanto a las condiciones de la estructura del habitáculo en el que se realiza el vuelo (asiento con espacio reducido o síndrome del turista, inmovilidad), como a las condiciones ambientales (aire seco de cabina que tiende a producir un cierto grado de deshidratación), tramites burocráticos en aduana, control del material y del equipaje, etc.

La cronobiología es la ciencia que estudia la estructuración de los ciclos biológicos y sus manifestaciones sobre la vida. El padre de la cronobiología clínica y de la bioritmología humana es Aschoff, que en el año 1959 publicó varios trabajos tras haber sometido a diferentes sujetos a un aislamiento cosmoclimático e introdujo el término “zeitgeber” para designar aquellos elementos ambientales que el hombre utiliza para delimitar sus ritmos biológicos. Los ritmos biológicos no están impuestos por el entorno pero sí son ajustados por él. Es lo que se llama sincronización exógena (luz/oscuridad, presencia de comida, etc).

La Cronobiología divide a la población en tres grandes grupos de personalidades horarias o Cronotipos⁵: a) madrugadores, son los individuos que se levantan y acuestan temprano (en la literatura anglosajona se les denomina “alondras”); b) noctámbulos que se acuestan y levantan tarde (en la literatura anglosajona se les denomina “búhos) y c) los indiferentes. Entre los dos primeros existe un diferencia de aproximadamente 65 minutos en la presentación del pico del ritmo de temperatura del cuerpo. Los madrugadores segregan una mayor cantidad de adrenalina por la mañana que los noctámbulos. Además, la frecuencia, modo y ritmo de actividad difieren en varias horas entre ambos grupos.

Los atletas de más de 50 años tienden a ser más madrugadores que los atletas jóvenes. Esto es importante a la hora de diseñar los programas de entrenamiento y las cargas de trabajo. Los ritmos circadianos tienen una amplitud mayor en los individuos entrenados que en los sedentarios.

No se conocen todos los factores exógenos que tienen influencia sobre el reloj interno del hombre, pero uno de los más importantes es el ciclo luz/oscuridad porque es capaz de afectar de modo relevante a todos los demás. Se sabe que la luz estimula el eje retinohipotalámico actuando directamente sobre el Sistema Nervioso Central y, especialmente, sobre la Glándula Pineal, inhibiendo la producción de melatonina. Para que la luz sea un factor regulador tiene que tener una intensidad (brillo) importante y debe ser duradera. Otro factor que tiene influencia sobre el reloj interno del ser humano es la ingesta de determinado grupo de alimentos. Por ejemplo, el consumo de altas dosis de proteínas por la mañana aumentaría la concentración de tiroxina que promovería la síntesis y la descarga de norepinefrina (neurotransmisor) y de dopamina que activarían el Sistema Nervioso Central. Por el contrario las comidas con una alta concentración de hidratos de carbono facilitan el aumento de triptófano en plasma y con ello la síntesis y descarga de serotonina, neurotransmisor que tiene un papel destacado en la regulación del sueño y es un precursor de la melatonina.



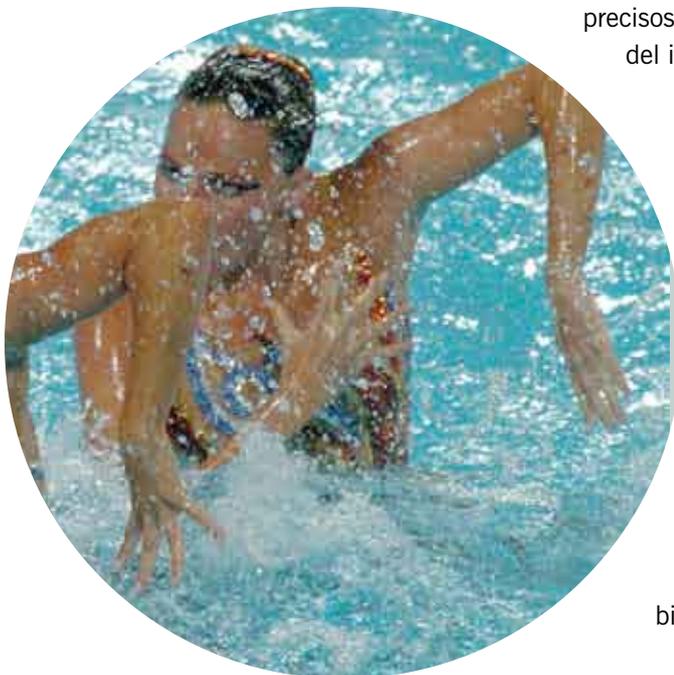
2.2 Ritmos circadianos del ser humano

Ritmo circadiano es la oscilación que sufre una variable biológica a lo largo del día, que se presenta en forma de ola periódica y que se reproduce. Estos ritmos biológicos están muy relacionados con factores ambientales.

En el cuerpo humano se suceden una serie de ritmos que llamamos endógenos que tienen una periodicidad variable. Así, a los que tienen una duración comprendida entre 20 a 28 horas les llamamos circadianos (duración cercana a un día); los que tienen unos ritmos menores a las 20 horas se denominan infradianos, mientras que los que presentan una duración mayor a las 28 horas los denominamos ultradianos.

Los parámetros fisiológicos dentro de un ritmo circadiano están influenciados por los cambios en la conducta humana y del entorno en que se desenvuelve el deportista. Un ejemplo lo tenemos en el comportamiento de la sociedad humana que tiene su máximo período de actividad durante el día, cuando hay mayor temperatura y luminosidad.

Estos factores exógenos son capaces de interrelacionarse con los ritmos fisiológicos y modularlos pero no son capaces de condicionarlos completamente. Mientras que los factores endógenos, coloquialmente llamado “reloj biológico”, sí son capaces de modificarlos. Así, vemos que los ritmos biológicos se mantienen durante los primeros días cuando se coloca a un individuo en una cámara de aislamiento, privado de sueño, en la fase inicial de los cambios de zonas horarias o en las personas que empiezan a trabajar en los turnos de la noche. Son precisos varios días para que se produzca la completa adaptación del individuo al nuevo entorno¹⁵.



¿Dónde localizamos el reloj endógeno del hombre? El reloj endógeno del hombre se encuentra en el cerebro, a nivel del núcleo supraquiasmático del hipotálamo anterior, cerca del quiasma óptico. Su periodicidad sería superior a las 24 h si no fuera porque hay un ajuste constante por parte de una serie de factores a los que denominamos de forma general “moduladores” (zeitgebers) y que están directa o indirectamente influidos por los factores ambientales; un ejemplo de ello sería en los mamíferos los ciclos luz/oscuridad, disponibilidad/no disponibilidad de comida, actividad/inactividad e influencias sociales. Todos estos factores, solos o combinados, son capaces de modular el reloj biológico¹.

● Temperatura del cuerpo humano

La temperatura del cuerpo presenta una serie de oscilaciones durante el día porque aumenta antes del despertar y alcanza su máximo valor hacia las 6 de la tarde, para ir descendiendo paulatinamente hasta las cuatro de la madrugada. Las variaciones oscilan en los adultos jóvenes entre $+0,5^{\circ}\text{C}$ y $-0,4^{\circ}\text{C}$ respecto a una temperatura corporal de 37°C . (Figura 1). Parece que estos cambios están relacionados con cambios en la secreción diaria de noradrenalina.

Los factores con mayor influencia sobre la temperatura son el sueño y el ejercicio.

Estas oscilaciones de la temperatura central del cuerpo (temperatura rectal) y la temperatura superficial (piel) no se ven afectadas por la práctica de ejercicio físico⁶.

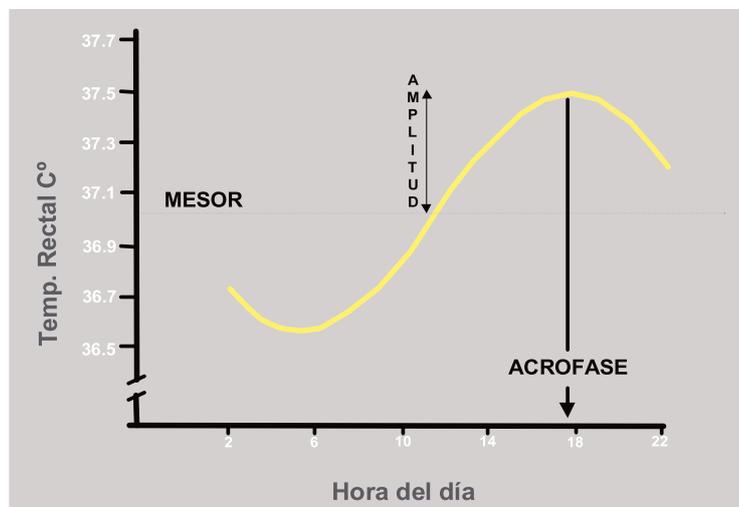


Figura 1. Ritmo circadiano de la temperatura rectal con los términos utilizados para describir los ritmos biológicos (Reilly 1995).

● Frecuencia cardiaca, presión arterial y frecuencia ventilatoria

La frecuencia cardiaca de reposo suele oscilar a lo largo del día, presentando su valor máximo a las 3 de la tarde, con un rango diario de variación situado entre el 5 y el 15%. Lo mismo ocurre con otros parámetros de la función cardiaca como son: el volumen de eyección, el trabajo cardiaco, la presión arterial y el flujo sanguíneo. La fracción de eyección y la presión arterial están influenciadas por factores externos como son la postura, el sueño, la dieta y la actividad física.

Está demostrado que la presión arterial tiene una regulación neuroendocrina asociada al sueño. Se produce una caída de la presión arterial después de la comida del mediodía seguida por un pico a la



tarde. Este fenómeno es más evidente en los pacientes que hacen la siesta y en aquellos en los que la caída de presión después de comer es mayor (ancianos)⁷.

La presión sanguínea y la frecuencia cardíaca presentan una oscilación rítmica a lo largo del día, pero es difícil identificar estas variaciones cuando están sometidas a la influencia del ejercicio físico^{8,44,20}.

Dos indicadores de la resistencia de las vías aéreas como son el volumen expiratorio forzado y el flujo expiratorio máximo, varían a lo largo del día y alcanzan su mínimo entre las 3 y las 8 de la mañana. Este ritmo puede verse ampliado en los individuos asmáticos (crisis por las noches o primeras horas de la mañana). Por ello, se recomienda que los deportistas asmáticos no se expongan a grandes intensidades de trabajo a primeras horas del día⁹.

● **Función gástrica y urinaria**

La función gástrica presenta unos ritmos circadianos, tanto la secreción ácida como la enzimática. Así, la velocidad de vaciado gástrico de los alimentos es un 50% más rápida en el desayuno que en la cena (20h). Pero se desconoce si el vaciado de bebidas isotónicas es mayor por la mañana que por la tarde durante el ejercicio.

La función urinaria presenta un pico de eliminación de electrolitos por la tarde (4 de la tarde), excepto para los cloratos, 17-cetosteroides y fosfatos. La acidez de la orina es mayor durante el sueño y más alta por la mañana, alcanzando la menor acidez por la tarde¹⁰.

● **Secreción hormonal y estado de humor subjetivo**

Tanto el cortisol como la hormona del crecimiento (GH) presentan picos de secreción por la noche durante el sueño. Ambas hormonas se ven influenciadas por la calidad del sueño y éste, a su vez, por el ejercicio físico.

Los picos en los niveles de catecolaminas aparecen al mediodía (12 horas). Variaciones de este ritmo pueden observarse con cambios en el nivel de excitabilidad del individuo.

La melatonina es una neurohormona producida en el cerebro por la glándula pineal, a partir del aminoácido triptófano. La secreción endógena de melatonina presenta un ritmo circadiano, presentando su pico máximo aproximadamente a las 9 de la noche y decayendo hasta las 8 de la mañana. La oscuridad favorece la secreción de melatonina y uno de sus efectos es la vasodilatación, que induciría una pérdida de calor así como el retraso de otras funciones. Ello nos prepara para conciliar el sueño.

La melatonina es un “modulador” interno (zeitgebers interno) con unos efectos parecidos a la luz pero invertidos. Por ejemplo, la ingestión de melatonina por la tarde tiende a adelantar el reloj interno, y la ingestión por la mañana temprano tiende a retrasarlo.

Los estímulos lumínicos tienden a frenar la secreción de melatonina. Por ejemplo, la exposición a una luz brillante por la mañana temprano, justo antes de alcanzar la temperatura mínima corporal, provoca un adelanto del reloj interior de forma directa. Pero además, tiene un efecto indirecto porque suprime la secreción de melatonina y previene el efecto retraso de fase que la melatonina ejercería en ese momento.

Sabemos que la secreción de melatonina se ve influenciada por el ejercicio, pero se discute si produce efecto estimulador o inhibidor. Esta influencia, se da en un sentido o en otro, apoyaría la teoría de que el ejercicio es un buen “modulador” del reloj interno. Estudios en hámsteres parecen confirmar este efecto regulador, aunque no se sabe si este ajuste se debe al propio ejercicio en sí o si se produce de forma indirecta estimulando el SNC.

Los estudios realizados parecen demostrar que el estado de vigilia y de buen humor se producen al despertarse. Este estado de buen humor y de excitación es importante para el rendimiento deportivo, para la predisposición al trabajo físico, el trabajo de grupo y la cohesión del mismo^{11,12}.

● Ritmos metabólicos

Los niveles de glucosa en sangre se ven muy influenciados por diversos factores metabólicos. A pesar de ello, la concentración de glucosa en sangre muestra una ritmicidad de una amplitud muy baja¹³, que solo se ve interrumpida por los picos que se producen después de las comidas y otro pico que se observa al final del sueño¹⁴.

Los niveles de ácidos grasos libres son más altos durante la noche que durante el día.

El consumo de oxígeno en reposo presenta una ritmicidad que cae al mínimo a las cuatro de la mañana, y parece estar asociado, en parte, a los cambios de temperatura corporal¹⁵. También influyen sobre los valores de consumo de oxígeno los niveles de catecolaminas.





2.3 Ritmos circadianos y rendimiento deportivo

Sabemos que al hablar de rendimiento deportivo hay que tener presente que puede estar influenciado por muchas variables.

Se cree que el ritmo circadiano puede tener cierta relación con el rendimiento físico porque muchos de los parámetros que definen el rendimiento deportivo presentan un sincronismo con el ritmo circadiano de la temperatura interna de nuestro organismo. Entre ellos podemos destacar: el pico de fuerza máxima de los músculos de la espalda, de las piernas¹⁶, y de los brazos¹⁷, la potencia anaeróbica, el salto de longitud y vertical¹⁸, la capacidad de resistencia (pico máximo a las 6 de la tarde). Lo mismo sucede con la flexibilidad⁹³. Además, bastantes variables fisiológicas relacionadas con el rendimiento deportivo tienen variaciones circadianas, como la frecuencia cardiaca¹⁹, la frecuencia ventilatoria²⁰, la concentración de lactato sanguíneo²¹ y la temperatura corporal²².

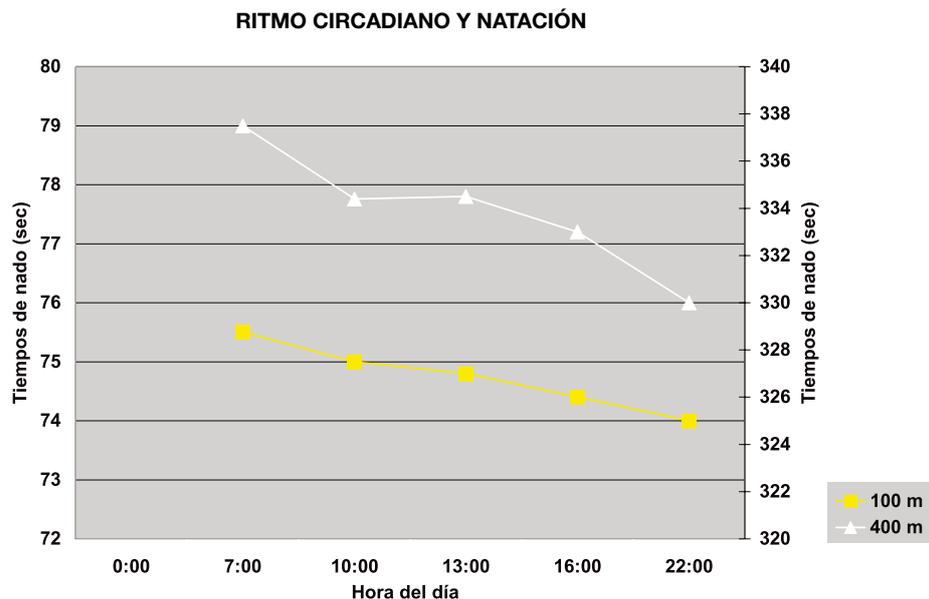


Figura 2. Variaciones en las marcas en natación (distancia de 100 y 400 mts) en función de la hora del día (Reilly 1990).

Si analizamos en qué momento del día se obtiene el máximo rendimiento en las diferentes competiciones, vemos que la mayoría de las marcas deportivas han sido batidas en las primeras horas de la tarde, cuando la temperatura corporal alcanza su máximo: esto se suele dar en natación^{23,24} (Figura 2), ciclismo²⁵ y halterofilia²⁶. También se sabe que los records de medio fondo, las mejores marcas de los jóvenes atletas en los 16 km y las marcas en lanzamiento de peso han sido batidos entre las 7 y las 11 de la noche²⁷. Todo lo anteriormente expuesto podría considerarse como una evidencia indirecta de

que los ritmos circadianos tiene una implicación en el rendimiento deportivo. Sin embargo, conviene ser prudente con esta interpretación porque hay que tener en cuenta que hay otros factores, como, por ejemplo, los ambientales (velocidad del viento, temperatura, altitud, etc), que pueden tener una influencia importante²⁸. Además, la mayoría de las competiciones importantes tienen lugar a esas horas de la tarde, por lo que parece lógico que sea en ese momento cuando se batan los records.

Si valoramos deportes donde podemos controlar mejor éstas variables externas, como la natación, también observamos que las mejores marcas en 100 y 400 mts se han conseguido en las primeras horas de la tarde²⁹(Figura 2). Ello abundaría en favor de que los factores exógenos no pueden por sí solos explicar la variaciones circadianas observadas en los estudios bien controlados.

● Rendimiento psicomotor y habilidades motoras

El tiempo de reacción, ante un estímulo sonoro o visual, es un factor importante en las carreras de corta distancia. Se ha comprobado que los picos de rendimiento máximo de tiempo de reacción se producen por la tarde, coincidiendo con la máxima temperatura corporal. Ello se explicaría porque por cada grado que aumenta la temperatura corporal se produce un aumento de 2,4 milisegundos en la velocidad de conducción nerviosa³⁰.

En los ejercicios en los que el equilibrio es un factor primordial, como son los ejercicios sobre el plato inestable (“wobble board”) y barra de equilibrio, los mejores resultados se consiguen por la mañana, probablemente porque los niveles de excitación son menores que por la tarde²⁵.

Existe una relación inversa entre la velocidad y la exactitud de ejecución. Por ello, los deportistas que practiquen deportes de gran precisión (tiro, golf, etc.) deberían tener peor rendimiento a primeras horas de la tarde³¹.

Algunos trabajos han estudiado las variaciones en la precisión y en la velocidad del saque, tanto en el tenis como en badminton, en función de la hora del día. Los resultados muestran que la mayor velocidad se obtiene entre las dos y las cuatro de la tarde, aunque parece que está más relacionado con la fatiga que con los cambios en la temperatura basal corporal⁴. Sin embargo, la mayor precisión se obtiene en las primeras horas de la mañana (9 h) (Figura 3)²⁹.

Al referirnos a la memoria reciente y en el cálculo mental se obtienen mayores rendimientos por la mañana temprano que por la tarde. Sin embargo, dependen mucho de las características de la tarea a realizar³⁰.

Los aspectos cognitivos complejos se ven dificultados en las primeras horas de la tarde¹⁴. Este fenómeno describe el declive transitorio de la vigilia y del estado de forma que se produce en las primeras horas de la tarde después de comer, incluso, aunque no se hayan ingerido alimentos. En este periodo de tiempo se deberían evitar los entrenamientos de habilidades complejas, arduas o la explicación de tácticas de juego.

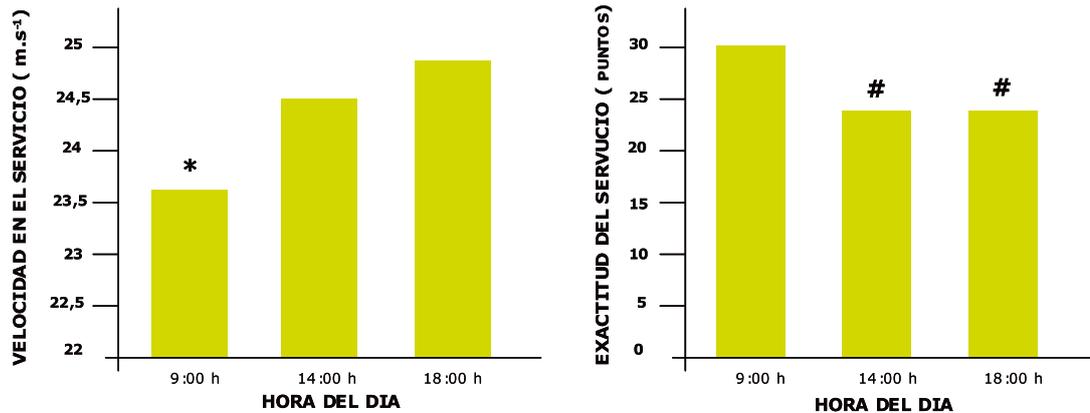


Figura 3. Variaciones diurnas en la ejecución del servicio en el tenis. Atkinson (1998).

* Diferencia significativa comparando con otras horas del día.

Diferencia significativa comparando con las 9:00 horas

La memoria a largo plazo o “memoria de retención” (datos que deben retenerse durante un plazo de 1 semana o más) es un 8% mayor cuando se estudian o presentan los datos en la franja horaria que va de las 15 h a las 21 h. Esto es importante para la planificación de los entrenamientos y el ensayo de estrategias de juego. En el extremo contrario, cuando se ha dormido poco (unas 3 horas o menos), se observa una disminución del 8% de la memoria de retención.

El cálculo aritmético y la memoria reciente presentan un pico en las primeras horas de la mañana en lugar de por la tarde. Según esto, sería aconsejable que los deportes que precisan una exactitud en la ejecución del acto deportivo así como la planificación de las tácticas de juego y el suministro de información por parte del entrenador, se realizaran a primera hora de la mañana.

● Flexibilidad y rigidez articular

El arco de movilidad articular (rango de movimiento) presenta una marcada ritmicidad durante el día, como muestran los trabajos realizados sobre variaciones en la flexo-extensión lumbar, movilidad de la articulación glenohumeral y rotación de tronco. Las va-



riaciones a lo largo del día pueden ser de hasta un 20%. Las máximas amplitudes en el rango de movimiento se obtienen en la segunda mitad del día (desde las doce de la mañana hasta las doce de la noche)³².

La rigidez (resistencia al movimiento) muestra niveles bajos a primeras horas de la tarde, es decir, que la mayor rigidez se alcanzaría por la mañana. Sin embargo, está muy influenciada por factores externos como, por ejemplo, la cantidad de ejercicio previo³³.

● Fuerza muscular

La fuerza muscular, independientemente del grupo muscular analizado o de la velocidad de contracción, alcanza su pico máximo en las primeras horas de la tarde en el hombre³⁴.

Por ejemplo, la fuerza de prensión de la mano puede oscilar un 6% a lo largo del día y alcanza su valor máximo entre las dos y las siete de la tarde^{30,35}. La valoración de la fuerza muscular en otros grupos musculares muestra un patrón similar como, por ejemplo, en la fuerza de extensión de la rodilla³⁶ o de aducción del pulgar³⁷. Estos ritmos son variables y dependen del grupo muscular valorado^{16,38} y del tipo de contracción solicitada³⁹.

La fuerza isométrica de extensión de la rodilla presenta dos picos: el primero al final de la mañana y el segundo al final de la tarde, con una caída transitoria entre ambos^{29,40}. En otros grupos musculares (flexores del codo), el pico de la fuerza isométrica se produce al inicio de la tarde⁴¹. En los músculos erectores de la espalda, el pico de fuerza se observa por la noche, y es un 6% superior al que se produce por la mañana¹². La fuerza de contracción excéntrica también muestra variaciones similares a lo largo del día^{42,43,44}. También se han encontrado mayores valores de distancia alcanzada en el salto vertical⁴⁵ (un 3.4%) y en el salto de longitud cuando la ejecución de los mismos tiene lugar en horas tempranas de la tarde (hacia las 6 de la tarde).

Algunos autores sostienen que las variaciones diarias pueden ser diferentes en función de la velocidad de contracción muscular. Por ejemplo, se ha visto que estas variaciones se dan fundamentalmente a altas velocidades de contracción ($3.14 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$)⁴⁶. Estas variaciones en función de la velocidad de contracción pueden ocurrir como resultado de la forma de reclutamiento de la fibra muscular. Sin embargo, estas oscilaciones en función de la hora del día no se observan en la relación fuerza máxima /velocidad angular que permanece constante a lo largo de todo el día⁴¹.

El mecanismo exacto que regula estos cambios en la fuerza a lo largo del día no es del todo claro pero parece que influirían tanto factores endógenos como exógenos^{34,35}.

Las variaciones diarias en la producción de fuerza muscular que se observan en los hombres no son tan evidentes en la mujer⁴⁷, a no ser que se le someta a sus músculos a una estimulación eléctrica⁴⁸. Estas diferencias entre hombres y mujeres pueden relacionarse con diferencias en la masa muscular entre sexos.



● Ejercicios de corta duración (velocidad)

La influencia del ritmo circadiano en la capacidad de rendimiento en ejercicios de corta duración (menos de 1 minuto) es controvertida y varía en función del tipo de ejercicio y del grupo muscular evaluado. Por ejemplo, curiosamente no se han observado variaciones diarias en la velocidad de sprint corto⁴⁹.

Algún estudio sugiere que la potencia y la capacidad anaeróbica desarrollada durante un ejercicio en bicicleta de 30 segundos de duración a la máxima intensidad posible, a las 9 de la noche, es un 8% mayor que cuando se hace a las 3 de la mañana⁵⁰. Pero estos hallazgos no han sido confirmados por otros autores.

También en pruebas de velocidad en natación se ha visto un mayor rendimiento por la tarde, que algunos autores atribuyen al aumento de la temperatura del agua. Pero cuando se controla esta variable, también se observan mejoras de rendimiento que pueden alcanzar el 11-14 % de variación entre la peor y la mejor marca, alcanzando el pico de máximo rendimiento a las 18 h⁵¹. Estas variaciones circadianas en el rendimiento observadas en los nadadores son mayores que el decremento producido cuando se les somete a una restricción de solo tres horas de sueño durante tres días seguidos.

● Ejercicios de larga duración

En ejercicios de larga duración a baja o media intensidad, se ha observado una ligera variación diaria de algunos parámetros fisiológicos. Por ejemplo, por la tarde, la frecuencia cardíaca (unos 3 a 5 latidos) y la percepción subjetiva del esfuerzo son inferiores, comparados con las respuestas observadas en un mismo ejercicio cuando se realiza por la mañana⁵³. Sin embargo, no está claro si el consumo de oxígeno, la frecuencia cardíaca máxima o la ventilación máxima durante el esfuerzo varían a lo largo del día^{19,54,55,56,57,58}.

Trabajos recientes han encontrado que el umbral anaeróbico presenta pequeñas variaciones circadianas como reflejo de los cambios que se producen en la frecuencia cardíaca y en el consumo máximo de oxígeno⁵².

No hay ritmicidad circadiana en la respuesta metabólica a un ejercicio determinado cuando este ejercicio es de máxima intensidad, aunque Deschenes et cols⁴⁶ han observado una tendencia a presentar valores más altos en las últimas horas del día. El consumo máximo de oxígeno es una función estable, independientemente de la hora del día a la que se mida^{19,57,59}.

La percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) ante un ejercicio máximo ofrece variaciones con las horas del día. Los trabajos de Faria et cols⁵⁷, muestran que la RPE es mayor en los ejercicios que se realizan a primeras horas de la mañana (2-4 horas) que los realizados por la noche (20-22 horas). En trabajos submáximos también la percepción de cansancio era superior por la mañana.

● Espalda

Una respuesta a la actividad diaria que tiene una importante repercusión en la rehabilitación es la reducción de altura del disco intervertebral, secundaria a la pérdida de líquido que sufre el disco con el transcurso del día, y que se recupera al estar tumbado por la noche. Esta pérdida de altura se ha cuantificado en 1,1% de la altura global del disco.

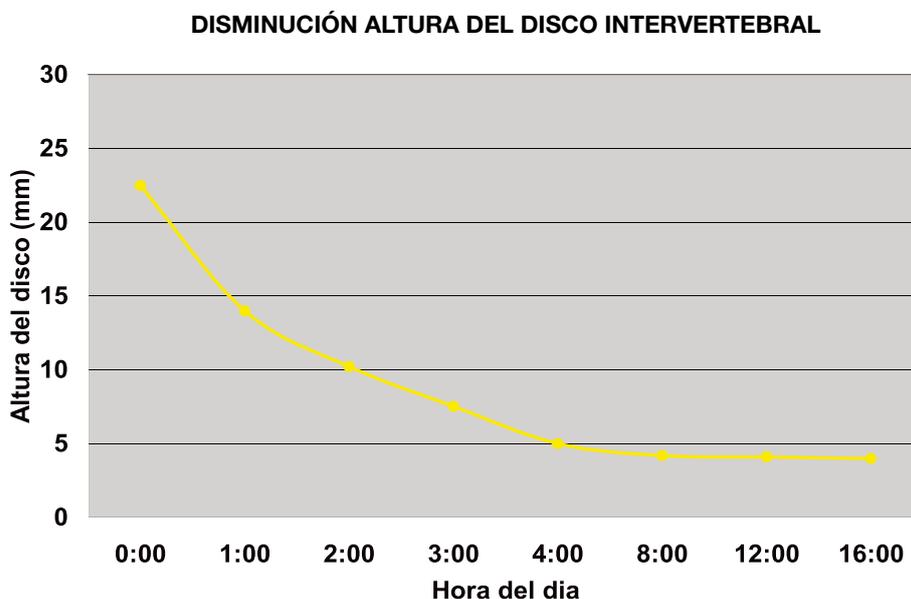


Figura 4. Disminución de la altura del disco intervertebral después de caminar por la mañana. (Hessemer et cols 1984)

La altura máxima del disco intervertebral se alcanza a las 7,30 h de la mañana y la menor a la medianoche⁶⁰ (Figura 4). El mismo estudio realizado en mujeres mostró que la pérdida de altura era similar y alcanzaba el 0,92% de la altura máxima.

Si sometemos a una misma carga de peso vertical a la columna, la pérdida de altura del disco intervertebral es mayor por la mañana que por la tarde porque el disco es más rígido por la tarde. Esta mayor rigidez del disco predispone a un mayor riesgo de lesión de espalda por la tarde. Sin embargo, esta mayor rigidez del disco que se observa por la tarde, estaría compensada por la mayor fuerza muscular que se tiene por la tarde, comparado con la mañana, en los músculos extensores de la espalda.

● Diferencias individuales

Hay que tener en cuenta que existe una importante variabilidad individual en los ritmos diarios de las variables analizadas anteriormente (cronotipos diferentes). Además, con la edad se reduce la



amplitud de los ritmos diarios y su longitud. No se sabe si esta diferencia observada con la edad se debe al proceso de envejecimiento del reloj interno o al cambio que se produce con la edad en el ritmo de sueño.

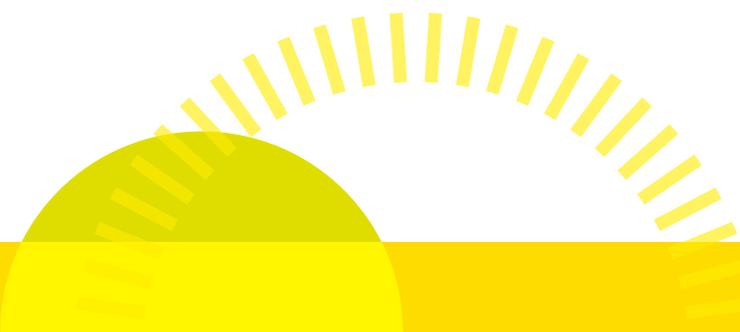
● **¿Existe una hora óptima del día para entrenar?**

Como se sabe que las diferentes cualidades físicas fluctúan a lo largo del día, se podría pensar que los efectos del entrenamiento sobre una cualidad física deberían ser mayores si se entrenase esa cualidad a la hora del día en la que se observa el máximo valor de cada cualidad física. Sin embargo, los resultados de los trabajos realizados con personas no entrenadas o de bajo nivel deportivo que han estudiado esta cuestión no son concluyentes. Por ejemplo, la mejora de la resistencia aeróbica con el entrenamiento es similar cuando se entrena la resistencia aeróbica por la tarde-noche (hacia las 8 de la tarde) que por la mañana (hacia las 9 de la mañana). Sin embargo, los deportistas que están acostumbrados a entrenar por la mañana (por ejemplo, los nadadores), no mejoran significativamente su resistencia aeróbica más si se entrenan por las tardes, aunque parece que puede existir una pequeña ventaja en el grupo que entrenó a primera hora de la tarde⁶¹.

Si nos referimos al entrenamiento de fuerza, se ha visto en sujetos sedentarios que la mejora de la fuerza isométrica después de realizar un programa de entrenamiento de fuerza es un 20% mayor cuando las sesiones de entrenamiento se llevan a cabo a las 9 de la noche que cuando se entrena a las 9 de la mañana⁶². También se encontraron niveles mayores de somatotropina y testosterona en sangre en los individuos que habían entrenado por la noche en comparación con los individuos que habían entrenado por la mañana⁶³.

Algunos estudios sugieren que el aprendizaje motor es más rápido cuando las tareas se realizan a primeras horas de la mañana (hacia las 9). Sin embargo, se necesita realizar más estudios para poder confirmar estos resultados.

El dolor muscular retardado (D.O.M.S.) que aparece tras ejercicios de fuerza realizados con un componente excéntrico importante, suele aparecer a los 2-3 días de haber llevado a cabo dicho ejercicio excéntrico poco habitual. Se han encontrado los niveles más bajos de D.O.M.S. cuando se realiza la sesión de entrenamiento por la tarde, con respecto a cuando se lleva a cabo por la mañana. Lo mismo ocurre con el aumento de las concentraciones sanguíneas del enzima creatin kinasa (marcador indirecto del daño celular). Sin embargo, no se sabe por qué se produce esta respuesta diferente del D.O.M.S. y de la creatin kinasa en función de la hora del día en que se entrene⁶¹.



2.4 Efectos del cambio horario sobre el rendimiento deportivo

Como se señalaba al comienzo de este trabajo, Pekín se encuentra al este de España y la diferencia horaria es de 6 horas (por ejemplo, a las 12 de la mañana en Madrid son las 6 de la tarde en Pekín). Este cambio horario obliga al organismo a adaptar sus ciclos circadianos⁶⁴. La adaptación requiere un tiempo y puede repercutir negativamente en el rendimiento deportivo^{65,66}.

El efecto que con mayor frecuencia se asocia al jet lag es el trastorno del sueño que está presente en el 60-70% de los sujetos durante la primera noche después de haber cruzado una zona horaria, mientras que al tercer día el porcentaje se reduce al 30%. Las pérdidas de sueño pueden alcanzar las 5-6 horas por noche⁶⁷. En general los síntomas aparecerán durante las primeras 48 horas después del vuelo y cuantas más zonas horarias se cruzan, mayor es el tiempo necesario para volver a recuperar la sincronización, aunque ésta no es lineal.

Hay una serie de factores que pueden ayudar a predecir la mayor o menor repercusión que pueda ocasionar este cambio horario sobre el rendimiento deportivo. Estos factores son los siguientes:

1. Dirección del vuelo. El tiempo necesario para adaptar la condición física al cambio horario es de, aproximadamente, un día por cada hora de diferencia⁶⁸. Este tiempo de adaptación es algo mayor (una media hora más por cada hora de diferencia), cuando se viaja hacia el este (como es el caso del viaje a Pekín) que cuando se viaja hacia el oeste^{69,70,71,72}. En el caso de Pekín, estaríamos hablando de unos 9 días (6 x 1,5) para adaptarse completamente al cambio horario de Pekín. En líneas generales podemos decir que cuando el viaje se realiza hacia el este la dificultad para conciliar el sueño a la hora local es mayor, mientras que en los vuelos hacia el oeste el problema se centra en que el individuo se despierta temprano.
2. En un mismo individuo, las adaptaciones al cambio horario de las distintas variables no se producen al mismo tiempo. Por ejemplo, parece que lo que primero se adapta es el ciclo sueño-vigilia, seguido del de la temperatura corporal^{70,73,74,75,89}.
3. La capacidad de adaptación es muy variable dependiendo de cada individuo^{2,84}. Por ejemplo, parece que a las mujeres y a las personas mayores les cuesta más adaptarse que a los hombres y a los jóvenes^{2,76}. También parece que los individuos noctámbulos tienen menos dificultades para adaptarse a los viajes hacia el oeste y que los madrugadores tienen menor dificultad para adaptarse a los viajes hacia el este^{77,78,79}. También los individuos acostumbrados a ser flexibles en sus hábitos de sueño se adaptan más fácilmente que los que tienen un horario rígido de sueño^{80,81}. Los individuos que están en mejor forma física y son poco ansiosos se adaptan mejor que los que están en peores condiciones físicas y son más ansiosos^{82,83,84,85}. Como vemos, hay deportistas que se adaptan más rápidamente que otros, pero aproximadamente un 30% de las personas no se llegan a adaptar completamente al cambio horario⁸⁶. Esta variabilidad individual afecta tanto a la readaptación como a la intensidad de los síntomas sufridos en el desajuste⁸⁷.



4. Experiencia de viajes previos: Los individuos que hacen viajes frecuentes con cambios horarios parece que se adaptan mejor que los que no viajan.
5. Estación del año: Es más fácil la readaptación en verano que en invierno (parece que es porque hay mayor número de horas de luz solar).

También se han asociado los vuelos intercontinentales con una mayor susceptibilidad a las infecciones por dos motivos: 1) por la calidad del aire respirado, y 2) por los cambios en la función inmunológica producidos por las alteraciones en el ritmo del sueño⁸⁸.

Tener presente los ritmos circadianos es beneficioso en todas aquellas tareas que precisan de cualidades físicas como la resistencia, funciones mentales y fuerza física. Este beneficio puede llegar al 10% del rendimiento deportivo si escogemos el momento oportuno para la ejecución de la actividad deportiva. Tenemos que tener presente que una disminución del 10% en el rendimiento deportivo se produce tras un sueño de menos de 3 horas, tras consumir alcohol hasta el límite legal o tras la ingesta de barbitúricos^{89,90}.

Wright et cols.⁹¹ mostró modificaciones en los tiempos de los velocistas y corredores de media distancia que habían realizado un vuelo hacia el este de más de 6 horas de cambio horario. También se objetivaron cambios en la fuerza medida con el test de fuerza de mano (grip strength) en los jugadores de rugby que viajaron del Reino Unido hacia Australia. Estos deportistas tardaron 4 días en recuperar los niveles máximos de fuerza obtenidos por la tarde. El ritmo normal general no se recuperó, como mínimo, hasta pasados 2-3 días.

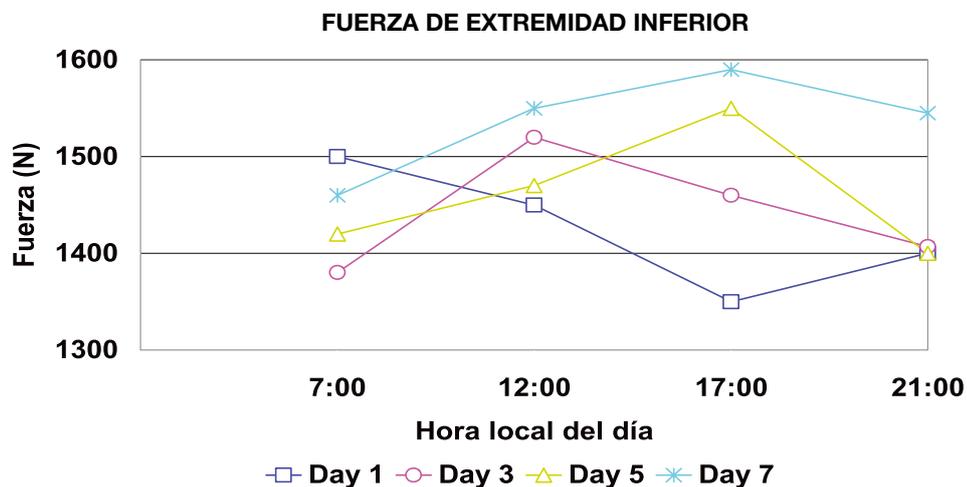


Figura 5. Valores de fuerza de la extremidad inferior en función del tiempo de resincronización tras un vuelo hacia el oeste y con 5 horas de cambio de horario. (Reilly 1997)

Parecidos resultados se han encontrado en los valores de la fuerza de las piernas en atletas que viajaban hacia el oeste con una diferencia horaria de 5 horas porque se tardaron 5 días en alcanzar el pico de fuerza máxima a las 5 de la tarde (tiempo habitual de competición) (Figura 5)⁹² .

Es difícil separar los efectos concretos que ocasiona la pérdida de sincronización del reloj interno de los debidos al cambio de escenario, estrés de competición, fatiga causada por el viaje, etc. Sin embargo, el estudio realizado por Recht et cols⁹³ sobre los resultados de la liga americana de béisbol mostraron que los equipos de casa tenían una mayor probabilidad de ganar y que, además, esta probabilidad era mayor si el equipo visitante viajaba atravesando varias franjas horarias hacia el este.

2.5 Medidas para reducir los problemas asociados al cambio horario

Las medidas que se pueden tomar para aliviar los síntomas del jet-lag van a estar en función de: a) dirección del vuelo, b) número de zonas horarias atravesadas, c) hora de salida del país de origen , d) hora de llegada en el lugar de destino y e) de los objetivos que debemos realizar.

● Antes de la salida

Informar a nuestro deportista de la probable aparición de esta sintomatología y de la forma de prevenirla y reducirla. Una estrategia para nuestros deportistas que van a viajar hacia Pekín donde tenemos una diferencia de 6 horas (a las 12 de la mañana en Madrid son las 6 de la tarde en Pekín) y la dirección del vuelo es hacia el este, es intentar adelantar la hora de acostarse por la noche los días previos al viaje para ir adaptándonos al horario de Pekín.

Lo ideal sería meterse en la cama media hora antes cada día y levantarse media hora antes cada día, comenzando 6 días antes del viaje. Si se cumple esto, el día anterior al viaje el deportista se acostaría hacia las 9 de la noche y se levantaría hacia las 5 a 6 de la mañana, con lo que se habría recuperado ya 3 horas de las 6 horas de diferencia que hay entre Madrid y Pekín. Es importante dormir bien el día previo a la salida, como mínimo 8 horas, para iniciar el vuelo lo más descansado posible.

También es importante un planificación correcta del desplazamiento para evitar contratiempos que acentúan el cansancio





del grupo como son los trámites de aduana, coordinación de vuelos, control del equipaje, o un alojamiento poco confortable en el lugar de destino.

● Durante el vuelo

Cuando se redactó este documento (mayo 2007), no se sabía el horario de los vuelos a Pekín que tendría la expedición española. Por ello se pondrá como ejemplo un vuelo directo Madrid-Pekín de 11 horas de duración, saliendo hacia las 12 de la mañana de Madrid (las 6 de la tarde en Pekín), y llegando a Pekín hacia las 11 de la noche de Madrid (las 5 de la mañana de Pekín).

Como se señalaba en el apartado anterior, lo ideal es que la víspera el deportista se haya acostado pronto y el día del vuelo haya madrugado.

Nada más embarcar en el avión, lo más recomendable es cambiar la hora del reloj y ponerlo a la hora de Pekín (en nuestro caso, las 6 de la tarde en Pekín). Cuando se lleven cuatro horas de vuelo (serán las 4 de la tarde en Madrid y las 10 de la noche en Pekín), lo ideal sería dormir la mayor cantidad de tiempo posible porque corresponderá a una siesta larga (horario de Madrid) o a una noche corta (horario de Pekín). Para ello, sería conveniente que hubiese poca luz dentro del avión en ese tiempo y propondríamos a la compañía aérea una comida abundante en hidratos de carbono que favorece conciliar el sueño, evitando bebidas como el café o el té. Se recomienda viajar con ropa cómoda, ir provisto de tapones de cera para disminuir los ruidos y antifaz para evitar la luz. Con ello se favorecerá la conciliación del sueño cuando coincida con las horas de sueño del lugar de destino.

Para aliviar o evitar los problemas asociados al hecho de estar sentado todo el tiempo, sería conveniente realizar ejercicios de estiramientos de brazos, tronco y piernas que se pueden realizar en el mismo asiento. También sería conveniente realizar paseos frecuentes por el pasillo del avión que favorecerán que el deportista se mantenga despierto. Estos ejercicios de estiramiento y movilidad se deberían realizar cada 2 horas. También es recomendable la utilización de calcetines de compresión progresiva que evitan que se acumule una cantidad excesiva de sangre en las piernas.

Se recomienda beber líquidos frecuentemente, especialmente agua, evitando el consumo de alcohol, coca cola y café por su efecto diurético (deshidratación) y excitante del Sistema Nervioso Central (evitar si se desea conciliar el sueño). La cabina del avión tiene un aire muy seco que potenciará la deshidratación.

Las comidas o las cenas deberán ser ligeras, porque no nos vamos a mover mucho.

● Nada más llegar a Pekín

En los vuelos hacia el este hay que evitar exponerse a la luz solar por la mañana, e intentar exponerse a la luz solar por las tardes. Con ello, se adapta más rápidamente al cambio horario.

Aunque se sigan a rajatabla los consejos, lo lógico es que se tarden de 5 a 9 días, aproximadamente, en adaptarse completamente al horario de Pekín. Lo más importante es adaptarse al horario del sueño.

La programación de las cargas de entrenamiento durante este periodo se deberá ajustar más al momento de adaptación que presenta el deportista, que a lo mejor no coincide con la hora teórica de la competición.

Durante esta fase de adaptación se promoverá en la dieta la ingesta abundante de hidratos de carbono en la cena, evitando el consumo de alcohol y de bebidas que contengan cafeína o teína para favorecer el sueño. También se debe insistir en beber abundantes líquidos. El desayuno debería contener una elevada proporción de proteínas para favorecer un estado de vigilia.

Es importante evitar dormir fuera del horario adecuado (por ejemplo, a media mañana o a media tarde), pero en caso de necesidad (cansancio excesivo, recuperación de cargas), pueden permitirse periodos de sueño corto (no mayores de 2 horas)⁹⁴.

2.6 Tratamiento de los síntomas producidos por el cambio horario

Además de las medidas descritas anteriormente para intentar reducir los síntomas asociados a los cambios horarios (composición adecuada de la dieta y programación de las horas de sueño)^{95,96}, algunos suelen recomendar la utilización de sustancias o medios físicos capaces de actuar sobre el reloj interno y que parece que favorecen la adaptación al cambio horario (cronobióticos). En los siguientes apartados se explicará lo que se sabe al respecto.

● Fototerapia

La fototerapia consiste en exponer a un individuo a un haz luminoso intenso, durante un periodo de tiempo determinado, para intentar retrasar o avanzar el ritmo circadiano de un sujeto y adaptarle de este modo más rápidamente al cambio horario.

En líneas generales podríamos decir que la exposición a un luz intensa por la tarde retrasaría el reloj interno mientras que si nos exponemos a este estímulo lumínico por la mañana adelantariamos el reloj interno. Si tenemos presente este fenómeno nos permitirá adaptarnos con mayor rapidez a los cambios de zona horaria ya que cuando viajamos hacia el este (China),



precisamos un adelanto de nuestro reloj interno mientras que cuando viajamos hacia el oeste (USA), necesitamos un retraso del reloj interno¹¹⁰.

Los trabajos realizados hasta la fecha que han estudiado los efectos de la fototerapia en la rapidez de adaptación al cambio horario no son concluyentes. Según indica el “Consensus Report for Light Treatment”, deberían realizarse más estudios para determinar los parámetros adecuados de intensidad de luz, tiempo de exposición y situaciones de vuelos que sean eficaces para acelerar la adaptación a los cambios horarios⁹⁷.

En general, los primeros días de estancia en Pekín hay que intentar exponer a los deportistas a la luz intensa desde el mediodía hasta primeras horas de la tarde (entre las 11 del mediodía y las 5 de la tarde), y evitar exponerlos a primera hora de la mañana^{1,110}.

● Sustancias que promueven la vigilia

Las sustancias más utilizadas para promover la vigilia son: las anfetaminas, la pemolina, el modafinilo y la cafeína. Como la única de ellas que no está incluida en la lista de sustancias prohibidas es la cafeína, es la única que se recomienda tomar, si es que se necesita.

La cafeína facilita la vigilia y el desarrollo de tareas mentales. Podría ingerirse si el deportista no se adapta bien al nuevo horario, para mantener la vigilia y evitar que el deportista se duerma en horas en las que debería estar despierto (por ejemplo, si tiene sueño por la mañana o a media tarde en Pekín). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la ingestión de cafeína en dosis elevadas puede provocar dificultad para conciliar o mantener el sueño en las horas normales de sueño (sueño recuperador), con lo que puede empeorar la adaptación al cambio horario.

● Cronobióticos

Son fármacos que parece que actúan sobre algún elemento biológico de la estructura del ritmo circadiano y que si se toman a una hora adecuada del día, podrían favorecer la adaptación más rápida al cambio horario. Los dos fármacos supuestamente cronobióticos más populares son las benzodiacepinas y la melatonina.

Las benzodiacepinas actúan sobre los receptores GABA del Sistema Nervioso Central favoreciendo el sueño. Ello ha permitido sospechar a algunos autores que podrían tener un efectos sobre el reloj biológico y favorecer una adaptación más rápida al cambio horario. Sin embargo, no hay evidencias de que las benzodiacepinas tengan efectos positivos sobre la adaptación al cambio horario⁹⁸. Las benzodiacepinas más utilizadas son el Diacepan (poco recomendado porque sus



efectos duran de 24 a 48 horas), el Loracepán (con efectos que duran más de 10 horas)⁹⁹, el Zolpidem, Zopiclone (no autorizado en España) y Zaleplon (con vida media más corta y menos efectos secundarios)¹⁰⁰. Además tienen efectos secundarios, como disminuir el estado de vigilia y el rendimiento psicomotor, que no son buenos para el deportista.

La melatonina es una sustancia que tiene propiedades hipnóticas y un efecto vasodilatador que reduce la temperatura corporal. También estimula secundariamente la respuesta inmunológica humoral a través de la interleukina-4 y otros citoquinas. Además, es un poderoso destructor de radicales libres. Cuando se toma antes de irse a dormir (hacia las 8 de la tarde hora local) favorece el sueño, lo que podría usarse para favorecer la adaptación al cambio horario. Por último, no presenta tantos efectos secundarios sobre el estado de forma a la mañana siguiente como las benzodiacepinas, aunque suele acompañarse de una sensación de fatiga^{1,101,102}.

Existen diversos trabajos que han estudiado los efectos de la ingestión de melatonina sobre la adaptación al cambio horario. Claustrat et col.¹⁰³ encontraron en un estudio a doble ciego, realizado con voluntarios sanos que tenían dificultades para adaptarse a los cambios horarios y que realizaron un viaje en avión hacia el este (USA-Francia), que la ingestión de una dosis de 5 miligramos diarios, el mismo día del retorno y durante los tres días posteriores por la tarde, se acompañó de una disminución de los síntomas generales del jet-lag, de la fatiga matutina, y de la recuperación del sueño, comparado con los efectos que se observaban en un grupo que no tomaba melatonina. En otro estudio se encontró que la ingestión de cafeína (al levantarse por la mañana) y de melatonina (por la tarde, antes de acostarse) en un grupo de voluntarios que realizaron un viaje hacia el este con una diferencia horaria de 7 horas, permitió mantener la fuerza de prensión de las manos, mientras que en un grupo de personas que no tomaban este tratamiento, los valores de fuerza de prensión de las manos disminuyeron los 4 primeros días después de viajar.

Sin embargo, la ingestión de cafeína y de melatonina no consiguió prevenir la pérdida de fuerza de las extremidades inferiores durante los 4 primeros días después de viajar¹⁰⁴.

Aunque los estudios anteriores parecen confirmar los efectos positivos de la ingestión de melatonina en la adaptación al cambio horario, existen otros estudios que no han encontrado efectos positivos sobre dicha adaptación tras la ingestión de melatonina¹⁰⁵. Por dicho motivo, no se puede confirmar con seguridad su efectividad. Incluso, hay grupos que se pronuncian en contra del uso de fármacos con el fin de reajustar el ritmo horario, como es el caso del Comité Olímpico Británico en su comunicado realizado en 1998¹⁰⁶.

En el caso de que alguien se decida o esté acostumbrado a tomar melatonina, debe saber que en España, al contrario de lo que ocurre en Estados Unidos o Tailandia, no está comer-





cializada su venta como suplemento dietético y la Agencia Española del Medicamento ha autorizado solamente su uso en animales. Si se ha conseguido el medicamento para uso humano en el extranjero, hay que tener cuidado con su pureza y con el peligro de que esté contaminada con productos dopantes, aunque no lo ponga en el prospecto, si se obtiene por internet. Parece que los mejores efectos de la utilización de la melatonina se obtienen cuando se toma en dosis de 2 a 5 miligramos, el día del viaje (importante: tomarla cuando sean las 8 de la tarde en Pekín) y durante los dos a cuatro primeros días de estancia en Pekín¹⁰⁷. Si se toman dosis mayores de 5 miligramos, no se observan mayores mejoras en los síntomas de jet lag.

Por último hay que indicar que la ingestión de melatonina está contraindicada en las personas que toman anticoagulantes orales (warfalina) y en las que tienen epilepsia¹⁰⁷.

● El ejercicio físico

Como hemos indicado anteriormente, existen evidencias de que el ejercicio físico puede actuar como un buen regulador del reloj interno. Sabemos que los individuos que realizan ejercicio físico de forma frecuente presentan una mayor facilidad para adaptarse a los cambios horarios¹⁰⁸. Los deportistas también se adaptan mejor cuando se entrenan ya desde el primer día de llegada al lugar de destino¹⁰⁹.

En el caso del viaje hacia el este (Pekín), lo mejor es entrenarse el primer día por la tarde temprano, en vez de por la mañana, porque parece que si se realiza el ejercicio por la tarde, después de la caída de la temperatura corporal, se obtiene un adelanto del reloj biológico, que es hacia lo que hay que tender para adaptarse a los cambios horarios cuando se viaja hacia el este.

BIBLIOGRAFIA

- 1. Waterhouse J, Reilly T, Atkinson G. Jet lag. *Lancet*. 350:1611 (1997).
- 2. Waterhouse J, Nevill A, Edwards B, Godfrey R, Reilly T. The relationship between assessments of jet lag and some of its symptoms. *Chronobiol. Int. Nov*;20(6):1061 (2003).
- 3. Waterhouse J, Edwards B, Neville A, Carvalho S, Atkinson G, Buckley B; Reilly T, Godfrey R, Ramsay R. Identifying some determinants of "jet lag" and its symptoms: a study of athletes and other travellers. *Br. J. Sports Med.* 36:54 (2002).
- 4. Edwards BJ, Lindsay K, Waterhouse J. Effect of time of day on the accuracy and consistency of the badminton serve. *Ergonomics*. Sep 15-Nov 15;48(11-14):1488 (2005).
- 5. Horne JA, Ostberg O. Individual differences in human circadian rhythms. *Biol. Psychol.* 5: 179 (1977).
- 6. Reilly T, Brooks GA. Exercise and the circadian variation in body temperature measures. *Int. J. Sports Med.* 7: 358 (1986).
- 7. Zulch KJ, Hossmann V. 24-hour rhythm of human blood pressure. *Ger. Med. Mon. Nov*;12(11):513 (1967).
- 8. Callard D, Davenne D, Lagarde D, Meney I, Gentil C, Van Hoecke J. Nycthemeral variations in core temperature and heart rate: continuous cycling exercise versus continuous rest. *Int. J. Sports Med.* Nov; 22(8):553 (2001).
- 9. Smolensky MH, Barnes PJ, Reinberg A, McGovern JP. Chronobiology and asthma. I. Day-night differences in bronchial patency and dyspnea and circadian rhythm dependencies. *J. Asthma* 23(6):321 (1986).
- 10. Robertson WG, Hodgkinson A, Marshall DH. Seasonal variations in the composition of urine from normal subjects: a longitudinal study. *Clin. Chim. Acta Oct* 15;80(2):347 (1977).
- 11. Atkinson G, Coldwells A, Reilly T. Circadian rhythmicity in self-chosen work-rate. In: Gutenbrunner C, Hildebrandt G, Moog R, editors. *Chronobiology and chronomedicine. Basic research and applications.* Frankfurt am Main: Peter Lang-Verlag 1993. pp: 478.
- 12. Atkinson G, Greeves J, Cable T. Day-to-day and circadian variability of leg strength measured with the LIDO isokinetic dynamometer. *J. Sport Sci.* 13: 18 (1995).
- 13. Mejean L, Kolopp M, Drouin P. Chronobiology, nutrition and diabetes mellitus. In Touitou Y, Haus E, editors. *Biological rhythms in clinical and laboratory medicine.* Berlin: Springer-Verlag 1992: 375.
- 14. Swoyer J, Haus E, Lakatua D. Chronobiology in the clinical laboratory In: Haus H, Kabat H. editors. *Chronobiology 1982-1983.* New York Karger 1984: 533.
- 15. Minors D, Waterhouse J. *Circadian rhythms and the human.* London: Wright PSG 1981.
- 16. Coldwells A, Atkinson G, Reilly T. Sources of variation in back and leg dynamometry. *Ergonomics* 37:79 (1994).
- 17. Gauthier A, Davenne D, Martin A, Cometti G, Van Hoecke J. Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions. *Chronobiol. Int.* Jul;13(2):135. (1996)
- 18. Reilly T, Down A. Investigation of circadian rhythms in anaerobic power and capacity of the legs. *J. Sports Med. Phys. Fitness Dec*;32(4):343 (1992).
- 19. Reilly T, Brooks GA. Investigation of circadian rhythms in metabolic responses to exercise. *Ergonomics* Nov;25(11):1093 (1982).
- 20. Reilly T. Circadian variations in ventilatory and metabolic adaptations to submaximal exercise. *Br. J. Sports Med.* 16: 115 (1982).



- 21. Forsyth JJ, Reilly T . Circadian rhythms in blood lactate concentration during incremental ergometer rowing. *Eur. J. Appl. Physiol.* Jun;92(1-2):69 (2004).
- 22. Aldemir H, Atkinson G, Cable T, Edwards B, Waterhouse J, Reilly T. A comparison of the immediate effects of moderate exercise in the late morning and late afternoon on core temperature and cutaneous thermoregulatory mechanisms. *Chronobiol. Int. Mar*;17(2):197 (2000).
- 23. Baxter C, Reilly T. Influence of time of day on all-out swimming. *Br. J. Sports Med.* Jun;17(2):122 (1983).
- 24. Reilly T, Marshall S . Circadian rhythms in power output on a swim bench. *J. Swim. Res.* 7 (2): 11 (1991).
- 25. Atkinson G, Todd C, Reilly T, Waterhouse J. Diurnal variation in cycling performance: influence of warm-up. *J. Sports Sci.* Mar;23(3):321 (2005).
- 26. Conroy RT, O'Brien M. Proceedings: Diurnal variation in athletic performance. *J. Physiol.* Jan;236(1):51P (1974).
- 27. Atkinson G, Coldwells A, Reilly T. The influence of age on diurnal variations in competitive cycling performances. *J. Sport Sci.* 12 : 127 (1994).
- 28. Drust B, Waterhouse J, Atkinson G, Edwards B, Reilly T. Circadian rhythms in sports performance--an update. *Chronobiol. Int.* 22(1):21 (2005).
- 29. Reilly T. Human circadian rhythms and exercise. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 18(3):165 (1990).
- 30. Winget CM; De Roshia CM, Holley DC. Circadian rhythms and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:498 (1985).
- 31. Atkinson G, Speirs L. Diurnal variation in tennis service. *Percept. Mot. Skills.* Jun;86 (3 Pt 2):1335 (1998).
- 32. Gifford LS. Circadian variation in human flexibility and grip strength. *Aust. J. Physiotherapy* 33: 3 (1987).
- 33. Wright V, Dowson D, Longfied MD. Joint stiffness--its characterisation and significance. *Biomed. Eng.* Jan;4(1):8 (1969).
- 34. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. Chronobiology and physical performance. In: Garrett WE JR, Kirkendall DT eds. *Exercise and Sport Science.* Philadelphia 2000: Lippincott Williams and Wilkins.pp. 351.
- 35. Reinberg A, Motohashi Y, Bourdeleau P, Andlauer P, Levi F, Bickova-Rocher A. Alteration of period and amplitude of circadian rhythms in shift workers. With special reference to temperature, right and left hand grip strength. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 57(1):15 (1988).
- 36. Callard D, Davenne D, Gauthier A, Lagarde D, Van Hoecke J. Circadian rhythms in human muscular efficiency: continuous physical exercise versus continuous rest. A crossover study. *Chronobiol. Int.* Sep;17(5):693 (2000).
- 37. Martin A, Carpentier A, Guissard N, Van Hoecke J, Duchateau J. Effect of time of day on force variation in a human muscle *Muscle. Nerve* Oct;22(10):1380 (1999).
- 38. Stratton PH, Catley M, Davey NJ. Stability of corticospinal excitability and grip force in intrinsic hand muscles in man over a 24-h period. *Physiol. Behav.* Sep;79(4-5):679 (2003).
- 39. Giacomoni M, Edwards B, Bambaiechi E. Gender differences in the circadian variations in muscle strength assessed with and without superimposed electrical twitches. *Ergonomics* Sep 15-Nov 15;48 (11-14):1473 (2005).
- 40. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. *Biological rhythms and exercise.* New York (1997): Oxford University Press.

- 41. Freivalds A, Chaffin DB, Langolf GD. Quantification of human performance circadian rhythms. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* Sep;44(9):643 (1983).
- 42. Wyse JP, Mercer TH, Gleeson NP. Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *Br. J. Sports Med.* Sep;28(3):167 (1994).
- 43. Gauthier A, Davenne D, Martin A, Van Hoecke J. Time of day effects on isometric and isokinetic torque developed during elbow flexion in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* Mar;84(3):249 (2001).
- 44. Souissi N, Gauthier A, Sesboue B, Larue J, Davenne D. Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. *J. Sports Sci.* Nov;20(11): 929 (2002).
- 45. Reilly T, Down A. Circadian variation in the standing broadjump. *Percept. Mot. Skills* 62: 830 (1986).
- 46. Deschenes MR, Kraemer WJ, Bush JA, Doughty TA, Kim D, Mullen KM, Ramsey K. Biorhythmic influences on functional capacity of human muscle and physiological responses. *Med. Sci. Sports. Exerc.* Sep;30(9):1399 (1998).
- 47. Phillips B. Circadian rhythms and strength performance. *Track Technique.* 126: 4026 (1994).
- 48. Bambaiechi E, Reilly T, Cable NT, Giacomoni M. The isolated and combined effects of menstrual cycle phase and time-of-day on muscle strength of eumenorrheic females. *Chronobiol. Int.* Jul;21(4-5):645 (2004).
- 49. Bernard T, Giacomoni M, Gavarry O, Seymat M, Falgairette G. Time-of-day effects in maximal anaerobic leg exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 77(1-2):133 (1998).
- 50. Hill DW, Smith JC. Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. *Can. J. Sport. Sci.* Mar;16(1):30 (1991).
- 51. Reilly T, Marshall S. Circadian rhythms in power output on a swim bench. *J. Swim. Res.* 7: 11 (1991).
- 52. Forsyth JJ, Reilly T. Circadian rhythms in blood lactate concentration during incremental ergometer rowing. *Eur. J. Appl. Physiol.* Jun;92(1-2):69. (2004).
- 53. Cohen CJ, Muehl GE. Human circadian rhythms in resting and exercise pulse rates. *Ergonomics* Sep;20(5):475 (1977).
- 54. Horne JA, Pettit AN. Sleep deprivation and the physiological response to exercise under steady-state conditions in untrained subjects. *Sleep* 7(2):168 (1984).
- 55. Hill DW. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *J. Sports. Med. Phys. Fitness* Sep;36(3):155 (1996).
- 56. Giacomoni M, Bernard T, Gavarry O, Altare S, Falgairette G. Diurnal variations in ventilatory and cardiorespiratory responses to submaximal treadmill exercise in females. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* Nov-Dec;80(6):591 (1999)
- 57. Faria IE, Drummond BJ. Circadian changes in resting heart rate and body temperature, maximal oxygen consumption and perceived exertion. *Ergonomics* May;25(5):381 (1982).
- 58. Cohen CJ. Human circadian rhythms in heart rate response to a maximal exercise stress. *Ergonomics* Jun;23(6):591 (1980).
- 59. Reilly T, Brooks GA. Selective persistence of circadian rhythms in physiological responses to exercise. *Chronobiol. Int.* 7(1):59 (1990).
- 60. Hessemer V, Langusch D, Bruck LK, Bodeker RH, Breidenbach T. Effect of slightly lowered body temperatures on endurance performance in humans. *J. Appl. Physiol.* Dec;57(6):1731 (1984).
- 61. Torii J, Shinkai S, Hino S, Kurokawa Y, Tomita N, Hirose M, Watanabe S, Watanabe S, Watanabe T. Effect of time of day on adaptive response to a 4-week aerobic exercise program. *J. Sports. Med. Phys. Fitness* Dec;32(4):348 (1992).

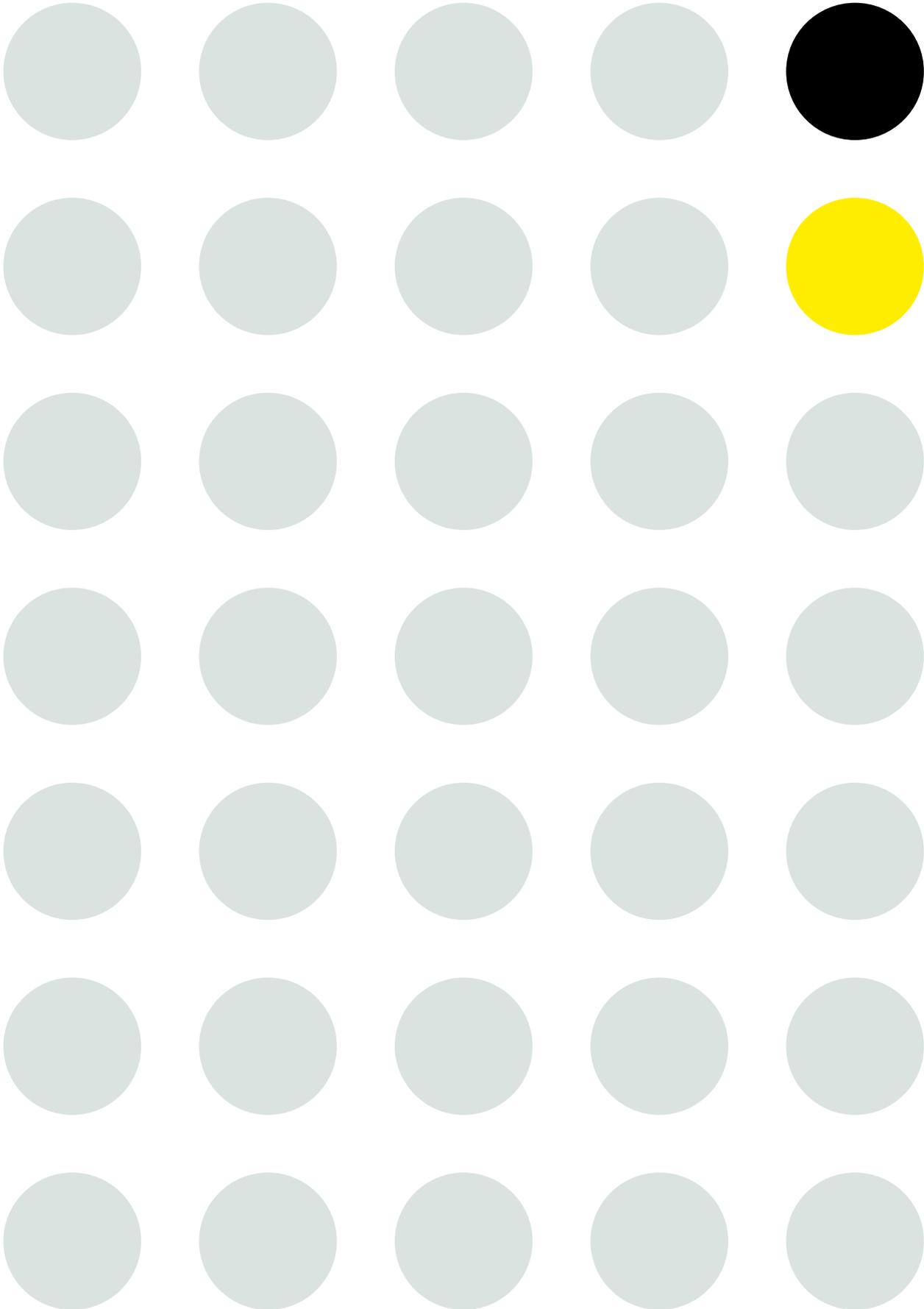


- 62. Hildebrandt G, Gutenbruner C, Reinhart C. Circadian variation of isometric strength training in man. In Morgan E, editor. Chronobiology and chronomedecine. Vol II Frankfurt Peter-lang 1990. pp: 322.
- 63. Gutenbrunner C. Circadian variations in physical training. In: Gutenbruner C, Hilderbrandt G, Moog R, editors Chronobiology and cronomedicine. Frankfurt : Peter Lang 1993. pp: 665.
- 64. Youngstedt SD, O'Connor PJ. The influence of air travel on athletic performance. Sports. Med. Sep;28(3):197 (1999).
- 65. Recht LD, Lew RA, Schwartz WJ. Baseball teams beaten by jet lag. Nature. Oct 19;377(6550):583 (1995).
- 66. League, Jehue R, Street D, Huizenga R. Effect of time zone and game time changes on team performance: National Football. Med. Sci. Sports Exerc. Jan;25(1):127-31 (1993). Comment in: Med. Sci. Sports. Exerc. Nov;25(11):1298 (1993).
- 67. Lavernhe J, LaFontaine E, Pasquet J. Les réactions subjectives et objectives aux ruptures des rythmses circadiens lors des vols commerciaux long courriers est-ouest et vice-versa. Revue de Medicine Aeronautic Spatiale 7: 121 (1968).
- 68. Aschoff J, Hoffmann K, Pohl H, Wever R. Re-entrainment of circadian rhythms after phase-shifts of the Zeitgeber. Chronobiologia Jan-Mar;2(1):23 (1975).
- 69. Kern R. Jet lag im hochleistungssport. Inaugural Dissertation, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Mannheim 1997.
- 70. Lemmer B, Kern RI, Nold G, Lohrer. Jet lag in athletes after eastward and westward time-zone transition. Chronobio. Inter. 19 (4): 743 (2002).
- 71. Klein KE; Wegmann H. The resynchronization of human circadian rhythms after transmeridian flights as a result of flight direction and mode of activity. In Chronobiology; Scheving LE, Halberg F, Pauly JE Eds; Thieme Publ: Stuttgart 1974. pp: 564.
- 72. Aschoff J, Hoffmann K, Pohl H, Wever R. Re-entrainment of circadian rhythms after phase-shifts of the Zeitgeber. Chronobiologia Jan-Mar;2(1):23 (1975).
- 73. Cabri J, De Witte B, Clarys JP, Reilly T, Strass D. Circadian variation in blood pressure responses to muscular exercise. Ergonomics Nov;31(11):1559 (1988).
- 74. Klein KE, Bruner H, Wegmann HM. Die Veränderung der psychomotorischen Leistungsbereitschft als folge pharmakodynamischer Einwirkung verschiedener Substanzen mit potentiell sedierenden Effekt. Azneimittelforschung. 17: 1048 (1967).
- 75. Folkard S, Monk TH. Chronopsychology : circadian rhythms and human performance. In: Gale A, Edwards JA, eds. Attention and performance. New York: Academic Press, 1983, 2. pp: 55.
- 76. Moline ML, Pollak CP, Monk TH, Lester LS, Wagner DR, Zendell SM, Graeber RC, Salter CA, Hirsch E. Age-related differences in recovery from simulated jet lag. Sleep Feb;15(1):28. (1992).
- 77. Kerkhof GA, Van Dongen HP. Morning-type and evening-type individuals differ in the phase position of their endogenous circadian oscillator. Neurosci. Lett. Nov 8;218(3):153 (1996).
- 78. Baehr EK, Revelle W, Eastman CI. Individual differences in the phase and amplitude of the human circadian temperature rhythm: with an emphasis on morningness-eveningness. J. Sleep. Res. Jun;9(2):117 (2000).
- 79. Volk S, Dyroff J, Georgi K, Pflug B. Subjective sleepiness and physiological sleep tendency in healthy young morning and evening subjects. J. Sleep. Res. Sep;3(3):138 (1994).
- 80. Folkard S, Monk TH, Lobban MC. Towards a predictive test of adjustment to shift work. Ergonomics Jan;22(1):79 (1979).

- 81. Barton J, Spelten E, Totterdell P. The standard shiftwork index: a battery of questionnaires for assessing shiftwork-related problems. *Work and Stress* 9 : 4 (1995).
- 82. Harma MI, Ilmarinen J, Knauth P, Rutenfranz J, Hanninen O. Physical training intervention in female shift workers: I. The effects of intervention on fitness, fatigue, sleep, and psychosomatic symptoms. *Ergonomics* Jan;31(1):39 (1988).
- 83. Harma MI, Ilmarinen J, Knauth P, Rutenfranz J, Hanninen O. Physical training intervention in female shift workers: II. The effects of intervention on the circadian rhythms of alertness, short-term memory, and body temperature. *Ergonomics* Jan;31(1):51 (1988).
- 84. Shiota M, Sudou M, Ohshima M. Using outdoor exercise to decrease jet lag in airline crewmembers. *Aviat. Space. Environ. Med.* Dec;67(12):1155 (1996).
- 85. Van Someren EJ, Lijzenga C, Mirmiran M, Swaab DF. Long-term fitness training improves the circadian rest-activity rhythm in healthy elderly males. *J. Biol. Rhythms* Apr;12(2):146 (1997).
- 86. Winget CM, Soliman MRI, Holley DC. Chronobiology of physical performance and sport medicine. In Touitou Y, Haus E, eds *Biologic rhythms in clinical and laboratory medicine*. Berlin and Heidelberg . Springer Verlag 1992. pp: 230
- 87. O'Connor PJ, Morgan WP. Athletic performance following rapid traversal of multiple time-zone- A review. *Sports. Med.* 10 :20 (1990).
- 88. Reilly T, Waterhouse J. Jet lag and air travel: Implications for performance. *Clin. Sports. Med.* (4):367 (2005).
- 89. Klein KE, Bruner H, Wegmann HM. Die Veränderung der psychomotorischen Leistungsbereitschaft als Folge pharmakodynamischer Einwirkung verschiedener Substanzen mit potentiell sedierendem Effekt. *Azneimittelforschung* 1967, 17. pp: 1048.
- 90. Folkard S, Monk TH. Chronopsychology : circadian rhythms and human performance. In: Gale A, Edwards JA, eds. *Attention and performance*. New York: Academic Press, 1983, 2. pp:55.
- 91. Wright JE, Vogel JA, Sampson JB, Knapik JJ, Patton JF, Daniels WL. Effects of travel across time zones (jet-lag) on exercise capacity and performance. *Aviat. Space. Environ. Med.* Feb;54(2):132 (1983).
- 92. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. Travel fatigue and jet-lag. *J. Sports Sci.* Jun;15(3):365 (1997).
- 93. Recht LD, Lew RA, Schwartz WJ. Baseball teams beaten by jet lag. *Nature* Oct 19;377(6550):583 (1995).
- 94. Olivé R. Jet lag, adaptación del equipo olímpico español *Ens. Viaje a Sydney. Selección* 2002, 11:160.
- 95. Wurtman RJ. Nutrients that modify brain function. *Sci. Am.* Apr; 246(4):50 (1982).
- 96. Reilly T, Waterhouse J . *Sport, exercise and environmental physiology*. Edimburgo, Scotland : Elsevier 2005.
- 97. Boulos Z, Campbell SS, Lewy AJ, Terman M, Dijk DJ, Eastman CI. Light treatment for sleep disorders: consensus report. VII. Jet lag. *J. Biol. Rhythms.* Jun;10(2):167 (1995).
- 98. Dawson D, Armstrong SM. Chronobiotics--drugs that shift rhythms. *Pharmacol. Ther.* 69(1):15 (1996).
- 99. Grobler LA, Schweltnus MP, Trichard C, Calder S, Noakes TD, Derman WE. Comparative effects of zopiclone and loperazolam on psychomotor and physical performance in active individuals. *Clin. J. Sport. Med.* Apr;10(2):123 (2000).
- 100. Daurat A, Benoit O, Buguet A. Effects of zopiclone on the rest/activity rhythm after a westward flight across five time zones. *Psychopharmacology (Berl).* Apr;149(3):241 (2000).
- 101. Arendt J, Skene DJ, Middleton B, Lockley SW, Deacon S. Efficacy of melatonin treatment in jet lag, shift work, and blindness. *J. Biol. Rhythms* Dec;12(6):604 (1997).



- 102. Atkinson G, Buckley P, Edwards B, Reilly T, Waterhouse J. Are there hangover-effects on physical performance when melatonin is ingested by athletes before nocturnal sleep?. *Int. J. Sports Med.* Apr;22(3):232 (2001).
- 103. Claustrat B, Brun J, David M, Sassolas G, Chazot G. Melatonin and jet lag: confirmatory result using a simplified protocol. *Biol. Psychiatry* Oct 15;32(8):705 (1992).
- 104. Lagarde D, Chappuis B, Billaud PF, Ramont L, Chauffard F, French J. Evaluation of pharmacological aids on physical performance after a transmeridian flight. *Med. Sci. Sports Exerc.* Apr;33(4):628 (2001).
- 105. Edwards BJ, Atkinson G, Waterhouse J, Reilly T, Godfrey R, Budgett R. Use of melatonin in recovery from jet-lag following an eastward flight across 10 time-zones. *Ergonomics* Oct;43(10):1501 (2000).
- 106. Reilly T, Maughan R, Budgett R. Melatonin: a position statement of the British Olympic Association. *Br. J. Sports Med.* Jun;32(2):99 (1998).
- 107. Herxheimer A, Petrie KJ. Melatonin for the prevention and treatment of jet lag. *Cochrane Library: disk issue 4: CD001520* (2002).
- 108. Harma M. Individual differences in tolerance to shift work: a review. *Ergonomics* Jan-Mar;36(1-3):101 (1993).
- 109. Reilly T, Piercy M. The effect of partial sleep deprivation on weight-lifting performance. *Ergonomics* Jan;37(1):107 (1994).
- 110. Reilly T, Atkinson G, Edwards B, Waterhouse J, Akerstedt T, Davenne D, Lemmer B, Wirz-Justice A. Coping with jet-lag: A position statement for the European College of Sport Science. *Eur J Sport Sci* 7 (1): 1-7 (2007).







ESP

S 2004

78

asics

ATHENS 2004



2161

3

asics