

1.2 Sobreentrenamiento

1.2.1 Sobreentrenamiento

El sobreentrenamiento es un tema popular y es un asunto frecuente en la conversación entre entrenadores, jugadores y científicos. También es un tema sobre qué personas sostienen opiniones sólidas. Cuando estudiamos las pruebas de manera objetiva, sin embargo, tenemos que llegar a la conclusión de que son escasas y que se han realizado pocos estudios sobre el tema (Halson & Jeukendrup, 2004). Aunque todos probablemente tienen una idea de lo que significa el *sobreentrenamiento*, también es bastante obvio que las personas tienen distintas ideas sobre el sobreentrenamiento. La gente usa distintas definiciones, tiene distintas opiniones sobre lo que lo causa, cómo se debería monitorizar y prevenir, e incluso, si es algo bueno o no. Podemos encontrar una cantidad bastante grande de publicaciones sobre el *sobreentrenamiento* e incluso libros dedicados a eso, pero estos generalmente son revisiones de artículos relacionados. Asombrosamente, hay poca investigación controlada sobre este tema.

El término sobreentrenamiento se usa de varias maneras (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Sobreentrenar generalmente se usa como un verbo que indica “realizar demasiado entrenamiento”. Cuando los deportistas dicen “estoy sobreentrenado” y “se usa en este contexto”, simplemente significa “he entrenado demasiado”.

Sin embargo, esta no es la definición más común utilizada por los científicos. Sobreentrenamiento aquí generalmente se usa para indicar una situación en donde los deportistas sufren de un desempeño insuficiente y no hay una razón evidente para explicar esto. Normalmente el deportista ha intentado recuperarse más sin éxito y entrenar más intensamente sin éxito. El desempeño insuficiente está acompañado de un montón de síntomas. Estos síntomas son diversos y altamente individuales, lo que significa que distintos deportistas pueden mostrar síntomas completamente diferentes. Debido a la naturaleza compleja de los síntomas clínicos, generalmente se usa el término síndrome de sobreentrenamiento. En un artículo de revisión con el título “Does overtraining exist?” (¿Existe el sobreentrenamiento?) que la doctora Shona Halson y yo escribimos, analizamos el sobreentrenamiento definido o el síndrome de sobreentrenamiento no en base a la disminución del desempeño o los síntomas, sino a la duración

de la recuperación (Jeukendrup, 2015a, <https://bit.ly/2S3Ckuf>).

Las disminuciones del desempeño son comunes pero esto puede deberse simplemente a la fatiga. O puede ser debido a la fatiga extrema (a menudo denominada extralimitación), que se observa generalmente después de un bloque de entrenamiento intenso o un campamento de entrenamiento o, en el fútbol, en períodos con más de un partido por semana. Los deportistas que vuelven de un campamento de entrenamiento generalmente tienen un desempeño peor al principio, pero después de la recuperación adecuada normalmente se ve un salto más importante en su desempeño como la recompensa por el trabajo duro durante el campamento. La extralimitación por lo tanto se había descrito como extralimitación funcional. (El término extralimitación funcional se describió en un documento de consenso (Meeusen, , 2013). Los deportistas atraviesan una fase como esta porque es necesaria para mejorar. (Jeukendrup, 2015a, <https://bit.ly/2S3Ckuf>).

A continuación, están las definiciones de extralimitación y sobreentrenamiento que se emplearán aquí:

Sobreentrenamiento

Una acumulación de estrés relacionado con el entrenamiento o la falta de entrenamiento que provoca una disminución a largo plazo de la capacidad de desempeño, en la cual la recuperación de la capacidad de desempeño puede durar varias semanas o meses. (Jeukendrup, 2015a).

Por lo tanto, el sobreentrenamiento parece estar al extremo final de un espectro de diferentes formas de "fatiga" (Figura 3). En un lado del espectro encontramos la fatiga: una disminución del desempeño que se puede revertir con unas horas de descanso. La fatiga severa puede requerir de 24 o 48 horas para la recuperación. Cuando esta fatiga se vuelve realmente severa, generalmente después de varios días o semanas de entrenamiento, y la recuperación puede tardar semanas, nos referimos a esto como extralimitación. Generalmente, esta es una forma funcional de extralimitación porque los deportistas se embarcan en dicho programa para causar fatiga extrema con el objetivo final de mejorar su

desempeño. En el otro extremo del espectro, tenemos el síndrome de sobreentrenamiento del cual es muy difícil recuperarse, tiene un enorme rango de síntomas y no es funcional sino patológico. El síndrome de sobreentrenamiento podría significar el final de una temporada o incluso de la carrera de un deportista. (Jeukendrup, 2015a, <https://bit.ly/2S3Ckuf>).

Figura 3: La fatiga y el sobreentrenamiento se encuentran en diferentes extremos de un espectro de fatiga.

Continuo del sobreentrenamiento

Entrenamiento intensificado continuo con recuperación



Fuente: Jeukendrup, 2015a, <https://bit.ly/2S3Ckuf>

El proceso por el cual el entrenamiento intensificado o la recuperación limitada conducen a la extralimitación o el sobreentrenamiento, generalmente se considera un continuo (Fry, Morton, & Keast, 1991; Halson & Jeukendrup, 2004). A la izquierda (o al comienzo) del continuo está la fatiga adecuada que ocurre como resultado de una serie individual de entrenamiento de ejercicios. Cuando las sesiones de entrenamiento se aplican de manera repetida con la recuperación apropiada, generalmente se produce una adaptación positiva y el mejoramiento del desempeño. Sin embargo, si el balance entre el entrenamiento y la recuperación es inapropiado, puede producirse un estado de extralimitación (Halson y Jeukendrup, 2004). Si el entrenamiento intensificado y la recuperación limitada continúan por períodos más largos, puede sobrevenir el estado más grave de sobreentrenamiento.

A medida que nos movemos de izquierda a derecha en este espectro (Figura 3), hay cada vez menos datos en la literatura científica para respaldar cualquier teoría. Esto se debe en parte a que es poco ético realizar estudios que produzcan efectos a largo plazo incluidos efectos sobre la salud. Como

lo discutimos en las secciones anteriores, hay una gran cantidad de información sobre las causas de la fatiga, a nivel de la musculatura así como a nivel del cerebro. Se mencionó que la fatiga es un fenómeno multifacético y, si bien todavía hay mucho debate acerca de los diferentes factores y qué factores tienen el rol más importante, tenemos muchos datos sobre las causas de la fatiga. Este no es el caso de la extralimitación. Existen solo unos pocos estudios controlados. Muchos de los estudios que han investigado los períodos de entrenamiento intenso no midieron el desempeño y, por lo tanto, no llegaron a ninguna conclusión sobre la extralimitación donde el desempeño reducido es el síntoma clave. Los estudios bien controlados probablemente se pueden contar con las dos manos. Cuando llegamos al sobreentrenamiento, realmente no hay datos sólidos. Hay algunos informes de casos y mucha información anecdótica. Sobre todo, hay muchas teorías. Pero la naturaleza del síndrome hace imposible estudiarlo sistemáticamente.

Cuando se les pregunta a los deportistas si han sobreentrenado durante su carrera, la mayoría de ellos probablemente dirá que han sido sobreentrenados en algún momento de sus carreras, pero, ¿fue este realmente el sobreentrenamiento que definimos aquí? Es por eso que el título del artículo que escribimos fue “¿Existe el sobreentrenamiento?”. Puede que exista pero hay pocos datos con los cuales guiarse. (Halson *et al.*, 2002; Halson & Jeukendrup, 2004; Halson, Lancaster, Achten, Gleeson, & Jeukendrup, 2004; Halson, Lancaster, Jeukendrup, & Gleeson, 2003).

Durante muchos años, la teoría predominante era que había dos tipos diferentes de sobreentrenamiento: una forma parasimpática y una simpática. Una instancia de hiperactividad era seguida por un período de insensibilidad. Se creía que la disfunción hipotalámica (una alteración en el funcionamiento normal del hipotálamo) era el origen del cambio de una forma a la otra (Barron, Noakes, Levy, Smith, & Millar, 1985).

Un resumen breve de la forma en que generalmente se explica es que varios elementos estresantes (entre otros, demasiado entrenamiento) pone al organismo en un estado de alerta: las hormonas del estrés están altas todo el tiempo y esto puede interferir en varios procesos del organismo. Por ejemplo, se ha demostrado que niveles aumentados de hormonas de estrés (especialmente cortisol) perjudican la función inmune y el aumento de la adrenalina (epinefrina) puede interferir con el sueño normal. Esto causa los síntomas

de la “forma simpática de sobreentrenamiento”. El organismo está en un estado de “alerta” constante. Cuando esta situación persiste durante un período prolongado, el organismo puede responder volviéndose menos sensible a estas señales de estrés y aquí es donde se podría desarrollar la escala completa de sobreentrenamiento. Los síntomas pueden ser muy similares entre estas dos formas de extralimitación/sobreentrenamiento, pero una vez que el organismo se vuelve insensible a las señales de estrés, tardará mucho más tiempo en recuperarse. Esta se denominó la forma parasimpática del sobreentrenamiento. También se ha sugerido que una vez que su organismo se vuelve insensible, los síntomas se vuelven menos severos, aunque esta es una situación mucho más seria y poco saludable, y, por lo tanto, se vuelve mucho más difícil de diagnosticar el desempeño insuficiente (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

1.2.2 Síntomas del sobreentrenamiento

Es importante notar que el síntoma más importante del sobreentrenamiento (o extralimitación) es el desempeño insuficiente (Halson & Jeukendrup, 2004).

Sin una medición clara y objetiva del desempeño insuficiente, el sobreentrenamiento no se puede diagnosticar. En el fútbol esto suele ser difícil, pero esto destaca la importancia de incluir una serie de pruebas en el entrenamiento normal de manera estandarizada. Cierta información se podría obtener de análisis comparativos, pero, por supuesto, hay muchas variables que influyen en la carrera y otras estadísticas de los análisis de videos. Estas mediciones nunca son lo suficientemente precisas como para ser útiles. (Jeukendrup, 2015b, <https://bit.ly/2aiLYGv>).

Muchos estudios publicados que dicen haber investigado el sobreentrenamiento en realidad no midieron el desempeño y, por lo tanto, no tienen manera de saber si los deportistas de su estudio realmente estaban extralimitados o sobreentrenados. En muchas situaciones prácticas esto también sucede. Se diagnostica que los deportistas están sobreentrenados, pero el desempeño en realidad podría ser normal. Por lo tanto, este diagnóstico es incorrecto por definición.

Entonces, el primer síntoma o el síntoma fundamental es el desempeño insuficiente (Jeukendrup, 2015a, 2015b).

La segunda serie de síntomas está asociada con la fatiga (esto se relaciona con el desempeño pero de manera más

subjetiva). Una tercera categoría de síntomas importantes son las alteraciones en la conducta y el estado anímico. Esta categoría es importante porque estos son síntomas fáciles de reconocer, especialmente para las personas que rodean a los deportistas. Es común ver a los deportistas ponerse irritables y mostrar signos de depresión cuando la carga de entrenamiento se aumenta drásticamente. El desempeño, la fatiga y el estado anímico generalmente son asequibles para medir y monitorizar y proporcionan muy buenos indicadores de la extralimitación o el sobreentrenamiento. (Jeukendrup, 2015b <https://bit.ly/2aiLYGv>).

Además, las mediciones fisiológicas como la frecuencia cardíaca (especialmente durante el sueño) a veces pueden resultar útiles. Las mediciones de la sangre a menudo se recomiendan como medidas preventivas, pero los estudios no han demostrado un marcador claro que pueda predecir la extralimitación o el sobreentrenamiento. Los marcadores más comunes son la testosterona y el cortisol, y el ratio cortisol/testosterona. Generalmente se mide la creatina quinasa (CK), al igual que la interleucina 6 o la glutamina. Sin embargo, ninguno de estos marcadores ha demostrado ser particularmente significativo. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

En la década de 1990 era más común medir varias hormonas. Esto podía proporcionar pruebas para la existencia de la forma simpática o parasimpática del sobreentrenamiento. Se desarrollaron pruebas de provocación de drogas, en donde se suministró una droga para desencadenar la respuesta de una hormona. La idea era que si la respuesta de la hormona era anormal, esto podría ser una señal de sobreentrenamiento. Estas pruebas no solo eran poco prácticas (y quizás poco éticas), tampoco resultaron muy útiles. (Jeukendrup, 2015b, <https://bit.ly/2aiLYGv>).

La monitorización de la fatiga y los síntomas de la extralimitación puede ser clave para prevenir el sobreentrenamiento. Una medición fundamental es el desempeño, que se debe monitorizar detenidamente. Además, se recomienda medir el estado anímico mediante cuestionarios simples como el Análisis diario de las demandas de la vida cotidiana o una versión más corta del Perfil de estados anímicos. Probablemente las derivaciones más breves de estos cuestionarios también son útiles pero no se han validado. La frecuencia cardíaca al dormir (o la frecuencia cardíaca de reposo) es otra medición relativamente fácil y útil. Muchas mediciones de la sangre parecen ser una pérdida de recursos.

Finalmente, en la figura pueden ver que hay una cantidad de síntomas que generalmente se ven con distintos niveles de gravedad: alteración del sueño e insomnio, resfriados frecuentes que parecen perdurar y pérdida de apetito y de peso. Es obvio que el sobreentrenamiento es un fenómeno complejo que afecta a muchos sistemas del organismo y, por lo tanto, produce un rango muy amplio de síntomas. (Jeukendrup, 2015b, <https://bit.ly/2aiLYGv>).

Algunas lecciones sobre el sobreentrenamiento:

- El sobreentrenamiento (y la extralimitación) se caracteriza por un amplio rango de síntomas.
- El síntoma fundamental es el desempeño reducido. Sin el desempeño reducido no hay sobreentrenamiento (o extralimitación).
- El sobreentrenamiento se encuentra en el extremo lejano del continuo.
- Los síntomas de sobreentrenamiento/extralimitación son **ALTAMENTE** individuales. Distintos deportistas mostrarán distintos síntomas con distintos niveles de gravedad.
- Ningún síntoma es exclusivo de “estar sobreentrenado”.
- Puede haber diferentes formas de sobreentrenamiento, pero las pruebas que lo respaldan son escasas en el mejor de los casos.
- Algunos de los síntomas en formas más leves pueden ser indicadores tempranos del sobreentrenamiento.
- No hay ningún indicador medible que detecte el sobreentrenamiento en una etapa temprana. En cambio, se recomienda medir varios marcadores, uno de los cuales tiene que ser el desempeño y otros podrían ser las mediciones del estado anímico y la frecuencia cardíaca al dormir. (Jeukendrup, 2015b)

Figura 4: Síntomas del sobreentrenamiento



Síntomas del sobreentrenamiento

<p>Desempeño</p> <p>Desempeño reducido Sin descenso en el desempeño no hay extralimitación/sobreentrenamiento</p>	<p>Fatiga</p> <p>Fatiga Dolor muscular crónico Aparición temprana de la fatiga Capacidad aeróbica reducida Inhabilidad para completar los ejercicios Recuperación retrasada Fortaleza muscular reducida</p>	<p>Fisiología</p> <p>Aumento de frecuencia cardíaca de reposo Aumento de frecuencia cardíaca al dormir Cambios en la variabilidad de la frecuencia cardíaca Palpitaciones del corazón Aumento de frecuencia cardíaca submáxima</p>	<p>Función inmune</p> <p>Infecciones frecuentes del tracto respiratorio superior Resfriados frecuentes Períodos de recuperación prolongados</p>
<p>Estado anímico</p> <p>Alteración del ánimo Irritabilidad Pérdida de motivación Pérdida del entusiasmo Pérdida de competitividad Depresión</p>	<p>Sangre</p> <p>Bajos niveles de testosterona Mayores niveles de cortisol Menor lactato máximo Menor lactato submáximo Creatina quinasa crónicamente alta</p>	<p>Sueño</p> <p>Insomnio Alteración del sueño</p>	<p>Gastrointestinal</p> <p>Pérdida excesiva de peso Pérdida del apetito Ausencia de menstruación Constipación o diarrea La lista de síntomas no es exhaustiva.</p>

El desempeño insuficiente es el síntoma clave. Sin desempeño insuficiente no hay sobreentrenamiento. Los otros síntomas pueden variar considerablemente entre individuos. Fuente: Jeukendrup, 2015b, <https://bit.ly/2aiLYGv>

1.2.3 Nutrición para prevenir el sobreentrenamiento: Carbohidratos

La nutrición puede afectar el desarrollo del sobreentrenamiento o la extralimitación. La nutrición inadecuada puede acelerar el desarrollo, y la recuperación optimizada puede prevenir o al menos retrasar la extralimitación. La nutrición inadecuada incluye la ingesta baja de energía, la ingesta baja de carbohidratos y, generalmente, una dieta de mala calidad. Estas han estado asociadas con un aumento en el riesgo de sobreentrenamiento. Por lo tanto, también es probable que la optimización de la nutrición pueda, al menos en parte, prevenir el sobreentrenamiento. En la siguiente sección, se analizará el rol de la nutrición en la prevención de la extralimitación (y el sobreentrenamiento).

La extralimitación y el rol del glucógeno muscular

Dado que se cree que la extralimitación se debe a una alta intensidad o un alto volumen de entrenamiento con

recuperación limitada, es perceptible que la fatiga y el bajo desempeño asociados con el sobreentrenamiento se atribuyen, al menos en parte, a una disminución en los niveles de glucógeno muscular. No hay estudios disponibles sobre la extralimitación en los jugadores de fútbol y, por lo tanto, tenemos que extrapolar de estudios en nadadores, ciclistas y corredores.

Un estudio temprano (Costill, 1988) investigó esta posibilidad al examinar los efectos acumulativos de 10 días de volumen de entrenamiento aumentado en el desempeño y los niveles de glucógeno muscular en nadadores. De los 12 nadadores que participaron como voluntarios en este estudio, 4 fueron incapaces de tolerar el aumento en el volumen de entrenamiento (de 4000 metros por día a 9000 metros por día).

El grupo que no pudo completar el programa de entrenamiento intensificado, consumió aproximadamente 1000 kcal por día menos que su requerimiento de energía estimada y además consumió menos carbohidratos que los nadadores que completaron el programa (5.3 g/kg de p. c. por día frente a 8.2 g/kg de p. c. por día). La potencia muscular, el desempeño de sprints y la capacidad de resistencia no se vieron afectados en los que completaron y los que no completaron.

Costill y cols. (Costill et al., 1988) concluyeron que los niveles de glucógeno de los que no completaron fueron insuficientes para mantener el desempeño. Sin embargo, los niveles de glucógeno fueron inadecuados para la energía requerida durante el entrenamiento y, por consiguiente, se produjo fatiga. Como la extralimitación y el sobreentrenamiento están definidos principalmente por una reducción en el desempeño (que no se detectó), es difícil concluir que las personas que no completaron en este estudio estuvieron extralimitadas (o sobreentrenadas).

Snyder y cols. (Snyder, Kuipers, Cheng, Servais, & Fransen, 1995) examinaron los efectos del entrenamiento intensificado en el desempeño con ingesta aumentada de carbohidratos, en un intento de determinar si la extralimitación aún podría ocurrir en presencia de niveles de glucógeno muscular normales. Para asegurarse de que los ciclistas de este estudio ingirieran suficientes carbohidratos, los individuos consumieron bebidas con 160 g de carbohidratos durante las dos horas posteriores al ejercicio. Los individuos completaron

28 días de entrenamiento: 7 días de entrenamiento normal, 15 días de entrenamiento intensificado y 6 días de recuperación. El glucógeno muscular de reposo fue el mismo durante el entrenamiento normal (531 mmol/kg dm) y el entrenamiento intensificado (571 mmol/kg dm). Se informó que los individuos se extralimitaron y exhibieron varios síntomas subjetivos. Sin embargo, cabe señalar que a pesar de todos estos signos de fatiga, la producción de potencia máxima durante una prueba de ciclo incremental no fue estadísticamente diferente después del entrenamiento intensificado. Solo cuatro de los ocho individuos demostraron un descenso en la potencia máxima además de un aumento en las respuestas a los cuestionarios sobre la alteración del estado anímico. Por lo tanto, parece que en este estudio solo la mitad de los individuos podrían clasificarse como extralimitados.

La resíntesis de glucógeno muscular después del entrenamiento o la competición es, sin duda, uno de los factores más importantes para el desempeño de carrera posterior. En un estudio realizado por Costill y sus colegas en Ball State University, corredores bien entrenados corrieron 16 km en tres días consecutivos (Costill, Bowers, Branam, & Sparks, 1971). Los niveles de glucógeno muscular disminuyeron de 141 mmol/kg de peso total después de la primera carrera a 73 mmol/kg de peso total después de la tercera carrera cuando se consumió una dieta de 40 a 50 % de carbohidratos. La disminución en el glucógeno muscular fue mucho menor cuando los corredores recibieron una dieta alta en carbohidratos (y, de hecho, los niveles de glucógeno muscular se mantuvieron bastante bien). (Jeukendrup y Gleeson, 2018).

Glucógeno muscular

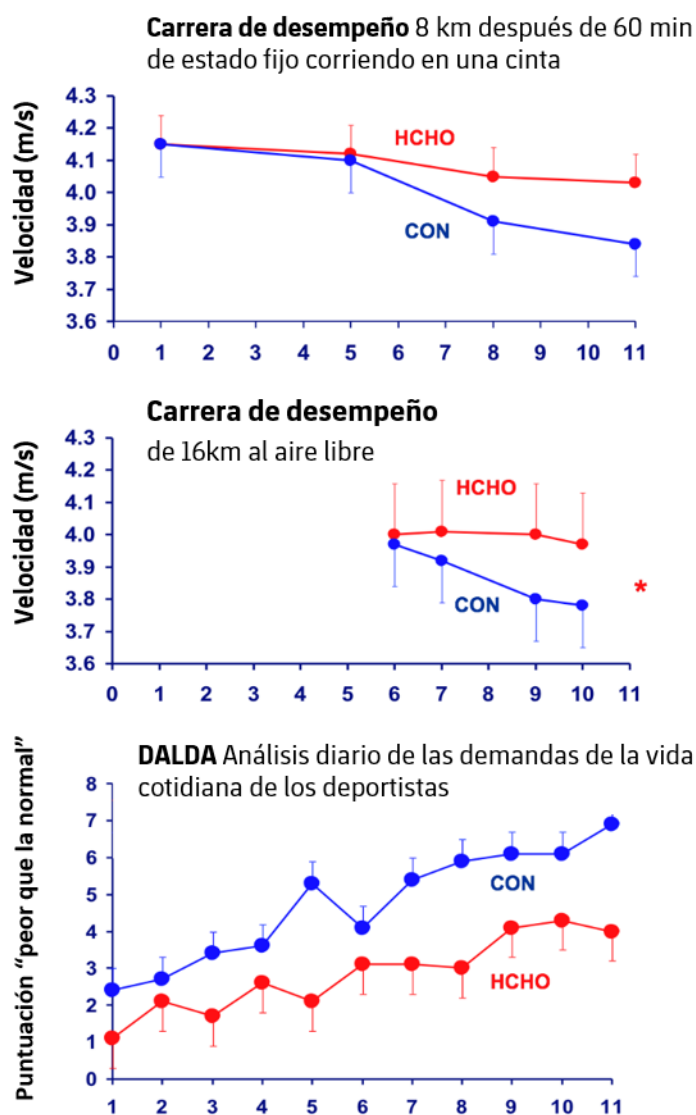
En esta sección y a lo largo del curso expresaremos el glucógeno muscular tal como se usa en los artículos correspondientes. La manera en la que se expresa el glucógeno muscular varía, lo cual hace un poco difícil de comparar los resultados de los distintos estudios. Las unidades utilizadas con mayor frecuencia son las unidades de mmol glicosil (glucosa) por kilogramo de masa seca o por kg de masa húmeda. La diferencia es que para expresar los resultados por kg de masa seca las muestras de biopsia muscular se tienen que secar por congelamiento. Se quita toda el agua de la muestra del músculo y se coloca la muestra congelada de la biopsia en un secador por congelamiento. El músculo contiene aproximadamente un 75 a 80 % de agua. Para convertir los valores de masa húmeda a masa seca se debe multiplicar la concentración por 4.5. (Jeukendrup y Gleeson, 2018).

Si bien la ingesta insuficiente de carbohidratos (con o sin ingesta de energía inadecuada) puede contribuir con el desarrollo de un síndrome de sobreentrenamiento, el sobreentrenamiento también puede desarrollarse cuando la ingesta de carbohidratos es adecuada. En un estudio de la universidad de Maastricht en los Países Bajos, la intensidad y el volumen del entrenamiento de los ciclistas bien entrenados se incrementaron durante dos semanas. Todos los ciclistas mostraron signos de sobreentrenamiento y se los clasificó como “extralimitados”. La disminución en el desempeño estuvo acompañada de menores frecuencias cardíacas durante el ejercicio (contrarreloj) y menores niveles máximos y submáximos de lactato en plasma (Jeukendrup, Hesselink, Snyder, Kuipers, & Keizer, 1992). Los menores niveles de lactato se pueden explicar teóricamente mediante tres factores: Primero, puede haber aumentado la eliminación de lactato. Esto no es probable porque el entrenamiento normal no provoca dicho efecto en el mismo marco temporal. Una segunda explicación podría ser una reducida concentración de glucógeno. Cuando los niveles de glucógeno son bajos, las tasas de glucólisis disminuyen y, por lo tanto, se reduce la formación de lactato. Sin embargo, cuando el mismo grupo de investigación repitió el estudio y se proporcionaron suplementos de carbohidratos para evitar una disminución en la ruptura de glucógeno muscular, los ciclistas todavía mostraban signos de extralimitación (Snyder *et al.*, 1995). Los niveles máximos y submáximos de lactato nuevamente disminuyeron, mientras que los niveles de glucógeno muscular permanecieron constantes. Una tercera explicación de los lactatos más bajos, por lo tanto, podría ser un impulso simpático menor o una sensibilidad reducida de los adrenoreceptores. Esta idea fue presentada por Barron y colaboradores (Barron *et al.*, 1985) y puede ser el resultado de un nivel de estrés aumentado y niveles reducidos de catecolaminas

circulantes. Al cabo de un tiempo, se produce una regulación por disminución de los receptores que provoca una sensibilidad reducida de los tejidos dianas (p. ej., hígado, músculos, corazón) a las catecolaminas y una tasa reducida de glucólisis, por lo tanto, menores concentraciones de lactato en plasma. Este es un factor más para tener en cuenta al interpretar las concentraciones de lactato medidas durante el entrenamiento.

Como los días repetidos de entrenamiento intenso y el agotamiento de los carbohidratos parecen estar vinculados con el desarrollo de la extralimitación, es tentador pensar que la suplementación de carbohidratos puede revertir los síntomas. En un grupo de corredores que recorrieron de 16 a 21 km diariamente durante 7 días, y todos estos recorridos se trataron como carreras, el desempeño descendió significativamente cuando se mantuvo una ingesta moderada de carbohidratos de 5.5 g/kg de p.c. por día (Achten, 2003). Los corredores también exhibieron un rango de síntomas que indicaban que estaban extralimitados. Sin embargo, cuando se aumentó la ingesta diaria de carbohidratos a 8.5 g/kg de p. c. por día, las disminuciones en el desempeño fueron mucho menores y los síntomas se redujeron. Además, la recuperación de esta semana de entrenamiento intenso fue más completa con el tratamiento alto en carbohidratos (Figura 5). (Jeukendrup y Gleeson, 2018).

Figura 5: Los efectos de 10 días de entrenamiento intenso en el desempeño en la carrera y el estado anímico (Análisis diario de las demandas de la vida cotidiana de los deportistas, DALDA) con una dieta normal (5.5 g/kg carbohidratos por día) o una dieta con carbohidratos adicionales (8.5 g/kg carbohidratos por día).



Fuente: Achten et al., 2003, <https://bit.ly/2DFjVzY>

En este estudio se controló de manera estricta la ingesta alimentaria y los individuos se alimentaron para mantener el balance energético. En un estudio de seguimiento, los individuos recibieron un suplemento de carbohidratos, pero su ingesta alimentaria el resto del día se registró pero no se controló (Halson et al., 2004). Se pidió a un grupo de ciclistas bien entrenados que realizaran 8 días de entrenamiento de resistencia intenso (se duplicó el volumen de entrenamiento normal). Esto se realizó en dos ocasiones

separadas por un período de lavado/recuperación de al menos 2 semanas. En una ocasión los individuos consumieron una solución de carbohidratos al 2% antes, durante y después del entrenamiento (contenido moderado de carbohidratos) y en otra ocasión consumieron una solución de carbohidratos al 6.4% antes y durante el entrenamiento y una solución de carbohidratos al 20% después del entrenamiento (contenido alto de carbohidratos). Las segundas condiciones están más en línea con las directrices de nutrición deportiva actuales. La ingesta total de carbohidratos fue de 6.4 g/kg de p.c. por día con contenido moderado de carbohidratos y 9.4 g/kg de p.c. por día con contenido alto de carbohidratos. El protocolo de entrenamiento intensificado produjo la extralimitación como se indicó a través de una disminución en el desempeño (tiempo hasta la fatiga a ~74% de VO₂ máximo), aunque la disminución en el desempeño fue significativamente menor con la ingesta alta de CHO, lo que sugiere que las dietas altas en CHO pueden reducir la gravedad de la extralimitación. Al forzar a los individuos a consumir suplementos que contenían una cantidad mayor de carbohidratos, la ingesta de energía total también aumentó (4500 kcal frente a 3300 kcal, respectivamente). Al parecer, durante el entrenamiento intenso, los deportistas reducen su ingesta espontánea de alimentos y al menos que se suplementen con carbohidratos, pueden estar en un balance energético negativo durante períodos de entrenamiento intensificado. Curiosamente, parece que también la cantidad de carbohidratos ingerida durante el entrenamiento influyó en la cantidad de tiempo necesario para la recuperación. Después de dos semanas de recuperación (volumen e intensidad reducidos) del entrenamiento intensificado con ingesta moderada de carbohidratos, el desempeño permaneció por debajo de la línea de referencia, mientras que el desempeño mejoró en comparación con la línea de referencia después de dos semanas de recuperación del entrenamiento intensificado con la ingesta alta de carbohidratos. Además, el agotamiento de carbohidratos, la deshidratación y un balance energético negativo pueden aumentar la respuesta al estrés (catecolaminas, cortisol y glucagón aumentados, mientras los niveles de insulina se reducen), lo cual aumenta el riesgo de desarrollar el sobreentrenamiento. (Jeukendrup y Gleeson, 2018).

Si bien estos estudios no se realizaron en deportes de equipo, es probable que se puedan extrapolar al fútbol. Las concentraciones de glucógeno se



reducen después de intensos días de entrenamiento o después de los partidos y se necesitan días para que las concentraciones de glucógeno se recuperen. Además, se ha demostrado que los jugadores de fútbol tienden a comer mucho menos carbohidratos y ni siquiera cumplen con las recomendaciones mínimas de 5 g/kg de p. c./día. Otro factor para tener en cuenta es que en el fútbol el componente excéntrico del ejercicio es mayor, lo que produce un mayor grado de daño muscular e inflamación. Esto parece afectar de manera negativa la restitución de glucógeno después del ejercicio.

Daño muscular y resíntesis de glucógeno

Los días repetidos de entrenamiento intensificado (especialmente carreras) pueden causar daño muscular y esto puede provocar una fuga del transportador de glucosa GLUT4 fuera de la célula muscular (Asp, Daugaard, & Richter, 1995). GLUT4 participa en el transporte de glucosa a través de la membrana celular. El ejercicio y la insulina normalmente producen una transaminación de GLUT4 desde las reservas intracelulares hasta la superficie celular, donde facilitará el transporte de glucosa. Se cree que la cantidad de transportadores de glucosa (GLUT4) presentes en el sarcolema es el paso regulador para el transporte de glucosa a través de la membrana celular. Se ha sugerido que el transporte de glucosa, a su vez, es un paso importante para la resíntesis de glucógeno (Burke, Van Loon, & Hawley, 2017; Murray & Rosenbloom, 2018). Por lo tanto, es factible que el daño muscular inducido por el ejercicio, como se ha visto con el sobreentrenamiento, pueda provocar una habilidad obstaculizada para restituir el glucógeno muscular. Si bien esta es una teoría interesante, los mismos autores no confirmaron esto en un estudio con maratonistas (Asp, Rohde, & Richter, 1997). Si de hecho es el propio daño muscular lo que causa la reducción en la resíntesis de glucógeno después del ejercicio excéntrico, es posible que no haya mucho que podamos hacer. Sin embargo, si está relacionado con la inflamación y los procesos secundarios del daño muscular, entonces es probable que las intervenciones nutricionales puedan tener un rol en la aceleración del proceso.

Aquí hemos establecido que durante períodos de entrenamiento intensificado es extremadamente importante prestar atención a la ingesta de carbohidratos. La ingesta insuficiente puede provocar fatiga, extralimitación e incluso sobreentrenamiento. Lo que sea adecuado dependerá de la intensidad y el volumen de entrenamiento, y esto se analizará más detalladamente en una sección sobre los aspectos prácticos de la restitución de glucógeno muscular como parte de un protocolo de recuperación. En esa sección, también se analizarán las mejores estrategias para la síntesis de glucógeno.

1.2.4 Nutrición y sobreentrenamiento: otros nutrientes

La glutamina, el sobreentrenamiento y el sistema inmune

Newsholme y colaboradores sugirieron que el entrenamiento intenso y el sobreentrenamiento producen una disminución en la concentración de la glutamina en la sangre (Newsholme, Acworth, & Blomstrand, 1987; Newsholme, Parry-Billings, McAndrew, & Budget, 1991). Cuando la concentración de glutamina disminuye por debajo de un nivel crítico, esto podría generar inmunodepresión (la glutamina es un combustible importante para el sistema inmunológico). Sobre la base de estas ideas, a menudo se afirma que los suplementos de glutamina ayudarían a reducir la inmunodepresión después de un ejercicio extenuante o períodos de entrenamiento intenso. Sin embargo, existen pocas pruebas para respaldar esta noción. Varios estudios no pudieron encontrar niveles reducidos de glutamina después del entrenamiento extenuante y los estudios de suplementación no mejoraron los marcadores de la función inmune. Además, no queda claro si los niveles de glutamina en plasma proporcionan información confiable sobre las reservas de glutamina del organismo, ya que el 90 % de la glutamina está presente en el músculo y muy pocas cantidades en el plasma. Por lo tanto, actualmente, no hay muchos motivos para recomendar a los deportistas que tomen suplementos de glutamina para mejorar la función inmune o prevenir el sobreentrenamiento.

Aminoácidos ramificados

En 1987, el profesor Eric Newsholme lanzó otra hipótesis en la que el aminoácido triptófano se asociaba con la fatiga central (Newsholme, 1991, p. 212). El triptófano es un precursor de la 5-hidroxitriptamina (5-HT o serotonina) en el cerebro. Solo aproximadamente el 10 % del triptófano en plasma está en forma libre y existen pruebas que sugieren que solo esta fracción está disponible para su captación por parte del cerebro. El resto del triptófano está unido a la albúmina plasmática. Sin embargo, los sitios de unión en la albúmina se comparten con los ácidos grasos. Durante el ejercicio, los ácidos grasos se movilizan del tejido adiposo y a través del plasma transportado al músculo para funcionar como combustible. La concentración de ácidos grasos en el plasma se incrementará gradualmente y competirá por los mismos sitios de unión en la albúmina que el triptófano. Mientras más altas sean las concentraciones de ácidos grasos, más se impedirá al triptófano que se una a la albúmina o lo eliminarán de los sitios de unión. Por lo tanto, aumentará la concentración de triptófano libre en la sangre. Simultáneamente, la oxidación de los aminoácidos ramificados (BCAA) leucina, isoleucina y valina en el músculo aumentarán durante el ejercicio prolongado (Wagenmakers, Brookes, Coakley, Reilly, & Edwards, 1989) lo que producirá una disminución de las concentraciones de BCAA en la sangre. El ratio de triptófano libre/BCAA aumentará sustancialmente. Como los BCAA y el triptófano compiten por la

entrada mediada por transportadores al sistema nervioso central mediante el transportador de aminoácido largo neutro (Wagenmakers, A. J. M., 1999, <https://bit.ly/2Fun7AL>) (LNAA), el aumento de este ratio conduciría a un mayor transporte de triptófano a través de la barrera hematoencefálica (Chaouloff, Kennett, Serrurier, Merino, & Curzon, 1986).

Una vez que comienza, la conversión de triptófano a 5-HT ocurriría y conduciría a un aumento local de este neurotransmisor. Este aumento en realidad se ha encontrado en ciertas áreas del cerebro de la rata, pero no se ha establecido si también ocurre en los humanos. (Wagenmakers, 1999, <https://bit.ly/2Fun7AL>)

De acuerdo con la "hipótesis de la fatiga central", el aumento en la actividad serotoninérgica posteriormente conduciría a la fatiga central, lo que obligaría a los deportistas a interrumpir el ejercicio o reducir la velocidad de carrera o ciclismo. Varios estudios han demostrado que la serotonina desempeña un rol en la aparición del sueño y que es un factor determinante del estado de ánimo y la agresión. Sin embargo, es incierto si también podría desempeñar un rol en la percepción de fatiga durante el ejercicio prolongado. El profesor Newsholme y colaboradores también sugirieron que el sobreentrenamiento puede conducir a niveles de ácidos grasos crónicamente elevados y un ratio elevado crónicamente de triptófano libre/BCAA. Según la hipótesis, esto conduciría a concentraciones de 5-HT aumentadas en el cerebro y se ha utilizado para explicar algunos de los síntomas de fatiga (central) del sobreentrenamiento. (Comité de investigación nutricional militar, 1999).

Una de las implicaciones de la "hipótesis de la fatiga central" es que la ingesta de BCAA, que compite con el triptófano por el transporte al cerebro podría reducir el aumento inducido por el ejercicio de la captación de triptófano en el cerebro y, por lo tanto, retrasar la fatiga. Otra implicación es que la ingesta de triptófano antes del ejercicio reduciría el tiempo hasta el agotamiento. (Wagenmakers, 1999, <https://bit.ly/2Fun7AL>).

Blomstrand y cols. estudiaron el efecto de la ingesta de BCAA en el desempeño físico por primera vez en una prueba de campo (Blomstrand, Hassmen, Ekblom, & Newsholme, 1991). Se estudiaron casi 200 individuos masculinos durante una maratón en Estocolmo. Se dividió a los corredores en un grupo experimental que recibió 16 g de BCAA en agua simple

durante la carrera y el grupo placebo que recibió agua saborizada. (Wagenmakers, 1999, <https://bit.ly/2Fun7AL>)

Además, los individuos tuvieron acceso a voluntad a bebidas con carbohidratos (CHO). No se observó ninguna diferencia en el tiempo de maratón de los dos grupos. Sin embargo, cuando el grupo original de individuos se dividió en grupos de corredores rápidos y más lentos, se observó una pequeña reducción significativa en el tiempo de carrera durante la segunda mitad de la maratón solo en los corredores más lentos. (Comité de investigación nutricional militar, 1999).

Este estudio tuvo varios defectos experimentales y, en retrospectiva, este primer estudio ha sido el único que afirma un efecto positivo de la ingesta de BCAA durante el ejercicio. Varnier y cols. (Varnier *et al.*, 1994) investigaron a 6 individuos entrenados moderadamente después de un ejercicio de agotamiento de glucógeno seguido de un ayuno nocturno. Se estudió a los individuos a la mañana siguiente durante el ejercicio con incremento gradual hasta el agotamiento y recibieron una infusión intravenosa de BCAA (260 mg/kg/h durante 70 minutos) o solo salina. No se observaron diferencias significativas entre las pruebas en el trabajo total realizado. Blomstrand y cols. (Blomstrand, Andersson, Hassmen, Ekblom, & Newsholme, 1995) además investigaron el desempeño en el laboratorio de cinco individuos masculinos con entrenamiento de resistencia durante ejercicio extenuante en un cicloergómetro a una tasa de trabajo correspondiente al 75 % de VO_2 máximo posterior a la reducción de las reservas musculares de glucógeno. Durante el ejercicio se proporcionó a los individuos en orden aleatorio una solución de CHO al 6 % que contenía 7 g/L de BCAA, una solución de CHO al 6 % y agua saborizada. El efecto positivo de la prueba de campo no se confirmó en este estudio de laboratorio controlado ya que no se vio ninguna diferencia en el desempeño cuando se proporcionó a los individuos carbohidratos + BCAA o solo carbohidratos. (Wagenmakers, 1999, <https://bit.ly/2Fun7AL>)

Blomstrand y cols. (1997) compararon el agua saborizada con una solución de BCAA en siete ciclistas entrenados con resistencia y no encontraron ningún efecto en el trabajo total realizado durante una prueba contrarreloj de ciclismo de 20 minutos tras una hora de ejercicio a 70 % de VO_2 máximo.

Madsen y colaboradores (1996) investigaron el desempeño en 9 ciclistas entrenados en una prueba contrarreloj de 100 km en laboratorio. Los individuos usaron su propia

bicicleta a una potencia elegida libremente, que simulaba las condiciones del campo, y se los estudió mientras ingerían solo agua saborizada (placebo), una solución de carbohidratos al 5 % (66 g por hora) y carbohidratos (66 g por hora) más BCAA (6.8 g por hora). No hubo diferencias entre los tratamientos en el tiempo necesario para finalizar los 100 km. (Comité de investigación nutricional militar, 1999).

En un estudio bien controlado, el doctor Van Hall y colaboradores (10) estudiaron el efecto de la suplementación con BCAA en el desempeño de resistencia a 70-75 % de VO_2 máximo. No se encontraron diferencias en la capacidad de resistencia (tiempo hasta el agotamiento) cuando se ingirió una solución de sacarosa al 6 % en comparación con una solución de sacarosa al 6 % combinada con 6 g/L de BCAA y 18 g/L de BCAA. Además, la suplementación con triptófano (sacarosa al 6 % con 3 g/l de triptófano) no tuvo efectos en el desempeño. Otros estudios llegaron a la misma conclusión. La conclusión general, por lo tanto, es que la suplementación con BCAA no tiene efectos en el desempeño y, aunque el efecto en el sobreentrenamiento no se haya estudiado directamente, la eficacia de la nutrición con BCAA debe cuestionarse. Una reciente revisión breve pero crítica también cuestionó el uso muy popular del suplemento de BCAA (Tipton, 2018).

Proteínas y sobreentrenamiento

Pocos estudios investigaron los efectos potenciales de la proteína en los síntomas de extralimitación. Generalmente, la ingesta de proteína está asociada con la recuperación y los deportistas la reconocen como un factor importante. Sin embargo, los efectos de la ingesta de proteína son a largo plazo y, por lo tanto, más difíciles de cuantificar. Witard, Jackman, Kies, Jeukendrup, and Tipton (2011) investigaron la tolerancia al entrenamiento intensificado con ingesta normal y alta de proteínas. Ciclistas entrenados completaron una semana de entrenamiento intensificado precedido por una semana de entrenamiento normal y seguido por una semana de recuperación. Se alimentaban con una dieta que contenía una cantidad normal de proteína: 1.5 g/kg/día, o alta en proteína: 3 g/kg/día. El contenido de carbohidratos de la dieta fue de 6 g/kg/día durante ambos tratamientos y el balance energético se mantuvo durante cada semana de entrenamiento. El desempeño de la resistencia se evaluó con una prueba de VO_2 máximo y contrarreloj. El desempeño contrarreloj disminuyó con las dos dietas, pero el descenso se atenuó con la dieta alta en proteína. Durante la fase de recuperación, el desempeño se volvió más rápido con la ingesta alta en proteína. Los síntomas informados de extralimitación también parecieron ser menores. "Por lo tanto, los autores concluyeron que la ingesta adicional de proteínas puede reducir los síntomas de estrés psicológico y puede producir un mejoramiento importante del descenso del

desempeño experimentado durante un bloque de entrenamiento de alta intensidad". (Witard y cols., 2011)

Los mismos autores también informaron que las proteínas altas de la dieta durante el entrenamiento de ejercicios de alta intensidad restituyen el tráfico de leucocitos, y los aspectos de vigilancia inmunológica, a niveles observados durante el entrenamiento de ejercicios de intensidad normal. Esta restitución de la vigilancia inmunológica con una dieta alta en proteínas ocurrió de forma paralela con una incidencia reducida de infecciones en el tracto respiratorio superior en los deportistas.

En general, las buenas prácticas de nutrición pueden ayudar a reducir la fatiga y la extralimitación. Por lo tanto, las directrices nutricionales analizadas en este curso ayudarán a la prevención de la extralimitación. Es importante tener en cuenta que el sobreentrenamiento ocurre cuando la suma de todos los elementos estresantes excede la capacidad de recuperación. Esto significa que se deben hacer esfuerzos para reducir TODOS los elementos estresantes. Es posible que los jugadores necesiten apoyo para lidiar con el estrés en el hogar o manejar la presión de los seguidores y los medios. Quizás el entrenamiento se tiene que adaptar. Es importante comprender que el entrenamiento no es el único estrés para los jugadores. Por otro lado, cuando hay poco tiempo de recuperación, las estrategias de recuperación se tienen que utilizar con mayor consistencia. Cuando se juega más de un partido por semana, es necesario un abordaje mucho más agresivo para la recuperación. La nutrición tiene un rol extremadamente importante durante estos períodos.

Referencias

- Achten, J., Halson, S. L., Moseley, L., Rayson, M. P., Casey, A., & Jeukendrup, A. E.** (2003). Higher dietary carbohydrate content during intensified running training results in better maintenance of performance and mood state. *Journal of Applied Physiology*, *Apr;96(4):1331-40*. Epub 2003 Dec 5.
- Asp, S., Dugaard, J. R., & Richter, E. A.** (1995). Eccentric exercise decreases glucose transporter GLUT4 protein in human skeletal muscle. *J Physiol*, *482(3)*, 705-712.
- Asp, S., Rohde, T., & Richter, E. A.** (1997). Impaired muscle glycogen resynthesis after a marathon is not caused by decreased GLUT-4 content. *J Appl Physiol*, *83(5)*, 1482-1485.
- Bangsbo, J.** (1994). Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci*, *12 Spec No*, 5-12.
- Bangsbo, J., Norregaard, L., & Thorso, F.** (1991). Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci*, *16(2)*, 110-116.
- Bangsbo, J.** (2014). Physiological demands of football. Retrieved from <https://www.gssiweb.org/sports-science-exchange/article/sse-125-physiological-demands-of-football>
- Barron, J. L., Noakes, T. D., Levy, W., Smith, C., & Millar, R. P.** (1985). Hypothalamic dysfunction in overtrained athletes. *J Clin Endocrinol Metab*, *60(4)*, 803-806.
- Blomstrand, E., Andersson, S., Hassmen, P., Ekblom, B., & Newsholme, E. A.** (1995). Effect of branched-chain amino acid and carbohydrate supplementation on the exercise-induced change in plasma and muscle concentration of amino acids in human subjects. *Acta Physiol Scand*, *153(2)*, 87-96.
- Blomstrand, E., Hassmen, P., Ek, S., Ekblom, B., & Newsholme, E. A.** (1997). Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. *Acta Physiol Scand*, *159(1)*, 41-49.
- Blomstrand, E., Hassmen, P., Ekblom, B., & Newsholme, E. A.** (1991). Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise--effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *Eur J Appl Physiol*, *63(2)*, 83-88.
- Bradley, P. S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., & Sheldon, B.** (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res*, *24(9)*, 2343-2351. doi:10.1519/JSC.0b013e3181aeb1b3
- Burke, L. M., van Loon, L. J. C., & Hawley, J. A.** (2017). Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans. *J Appl Physiol*, (1985), *122(5)*, 1055-1067. doi:10.1152/jappphysiol.00860.2016
- Carling, C., & Dupont, G.** (2011). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during

professional soccer match-play? *J Sports Sci.*, 29(1), 63-71. doi:10.1080/02640414.2010.521945

Chaouloff, F., Kennett, G. A., Serrurier, B., Merino, D., & Curzon, G. (1986). Amino acid analysis demonstrates that increased plasma free tryptophan causes the increase of brain tryptophan during exercise in the rat. *J Neurochem*, 46(5), 1647-1650.

Coggan, A. R., & Coyle, E. F. (1987). Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *J Appl Physiol.*, 63(6), 2388-2395.

Costill, D. L., Bowers, R., Branam, G., & Sparks, K. (1971). Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. *J Appl Physiol*, 31, 834-838.

Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Houmard, J. A., Mitchell, J. B., Thomas, R., & Park, S. H. (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 20(3), 249-254.

Di Mascio, M. & Bradley, P. S. (2013). Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches. *J Strength Cond Res.*, 27(4), 909-915. doi:10.1519/JSC.0b013e31825ff099

Fry, R. W., Morton, A. R., & Keast, D. (1991). Overtraining in athletes: an update. *Sports Med.*, 12(1), 32-65.

Halson, S. L., Bridge, M. W., Meeusen, R., Busschaert, B., Gleeson, M., Jones, D. A., & Jeukendrup, A. E. (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol.*, 93(3), 947-956.

Halson, S. L. & Jeukendrup, A. E. (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Med.*, 34(14), 967-981.

Halson, S. L., Lancaster, G. I., Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A. E. (2004). Effects of carbohydrate supplementation on performance and carbohydrate oxidation after intensified cycling training. *J Appl Physiol.*, 97(4), 1245-1253.

Halson, S. L., Lancaster, G. I., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M. (2003). Immunological responses to overreaching in cyclists. *Med Sci Sports Exerc.*, 35(5), 854-861.

Jeukendrup, A. E. (2015a). Overtraining: is it real? Retrieved from <http://www.mysportscience.com/single-post/2015/03/02/Overtraining-is-it-real>

Jeukendrup, A. E. (2015b). Symptoms of overtraining. Retrieved from <http://www.mysportscience.com/single-post/2015/03/03/Symptoms-of-overtraining>

Jeukendrup, A. E. & Gleeson, M. (2018). *Sport Nutrition: an introduction to energy production and performance* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Jeukendrup, A., Hesselink, M. K. C., Snyder, A. C., Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *Int J Sports Med.*, 13, 534-541.



- Kirkendal, D.** (1990). Mechanism of peripheral fatigue. *Med.Sci.Sports Exerc.*, 22, 444-449.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J.** (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 38(6), 1165-1174. doi:10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd
- Marqués-Jiménez, D., Calleja-González, J., Arratibel, I., Delextrat, A., & Terrados, N.** (2017). Fatigue and Recovery in Soccer: Evidence and Challenges. *The Open Sports Sciences Journal*, 10(Suppl 1: M5), 52-70. doi:10.2174/1875399x01710010052
- McKenna, M. J., & Hargreaves, M.** (2008). Resolving fatigue mechanisms determining exercise performance: integrative physiology at its finest! *J Appl Physiol (1985)*, 104(1), 286-287. doi:10.1152/jappphysiol.01139.2007
- Meusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D.** (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.*, 45(1), 186-205. doi:10.1249/MSS.0b013e318279a10a
- Meusen, R. & Roelands, B.** (2018). Fatigue: Is it all neurochemistry? *Eur J Sport Sci.*, 18(1), 37-46. doi:10.1080/17461391.2017.1296890
- Mohr, M., Krustrup, P., & Bangsbo, J.** (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.*, 21(7), 519-528. doi:10.1080/0264041031000071182
- Murray, B., & Rosenbloom, C.** (2018). Fundamentals of glycogen metabolism for coaches and athletes. *Nutr Rev.*, 76(4), 243-259. doi:10.1093/nutrit/nuy001
- Newsholme, E. A., Acworth, I. N., & Blomstrand, E.** (1987). Amino acids, brain neurotransmitters and a functional link between muscle and brain that is important in sustained exercise. In G. Benzi (Ed.), *Advances in myochemistry* (pp. 127-138). London, UK.
- Newsholme, E. A., Parry-Billings, M., McAndrew, N., & Budget, R.** (1991). A biochemical mechanism to explain some mechanisms of overtraining. In F. Brouns (Ed.), *Advances in nutrition and topsport* (Vol. 32, pp. 79-93). Basel, Switzerland: Karger.
- Reilly, T., & Thomas, V.** (1979). Estimated daily energy expenditures of professional association footballers. *Ergonomics*, 22(5), 541-548. doi:10.1080/00140137908924638
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M.** (2016). Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 48(2), 267-276. doi:10.1249/MSS.0000000000000762
- Smith, M. R., Zeuwts, L., Lenoir, M., Hens, N., De Jong, L. M., & Coutts, A. J.** (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *J Sports Sci.*, 34(14), 1297-1304. doi:10.1080/02640414.2016.1156241
- Snyder, A. C., Kuipers, H., Cheng, B., Servais, R., & Fransen, E.** (1995). Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. *Med Sci Sports Exerc.*, 27(7), 1063-1070.

- Sparks, M., Coetzee, B., & Gabbett, J. T.** (2017). Variations in high-intensity running and fatigue during semi-professional soccer matches. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *16*(1), 122-132. doi:10.1080/24748668.2016.11868875
- Tipton, K.** (2018). The truth about BCAA. *Mysportscience*. Retrieved from <http://www.mysportscience.com/single-post/2017/10/02/The-truth-about-BCAA>
- Varnier, M., Sarto, P., Martines, D., Lora, L., Carmignoto, F., Leese, G. P., & Naccarato, R.** (1994). Effect of infusing branched-chain amino acid during incremental exercise with reduced muscle glycogen content. *Eur J Appl Physiol.*, *69*(1), 26-31.
- Wagenmakers, A. J. M., Brookes, J. H., Coakley, J. H., Reilly, T., & Edwards, R. H. T.** (1989). Exercise-induced activation of branched-chain 2-oxo acid dehydrogenase in human muscle. *Eur J Appl Physiol.*, *59*, 159-167.
- Wagenmakers, A. J. M.** (1999). Supplementation with Branched-Chain Amino Acids, Glutamine, and Protein Hydrolysates: Rationale for Effects on Metabolism and Performance. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK224625/>
- Witard, O. C., Jackman, S. R., Kies, A. K., Jeukendrup, A. E., & Tipton, K. D.** (2011). Effect of increased dietary protein on tolerance to intensified training. *Med Sci Sports Exerc.*, *43*(4), 598-607. doi:10.1249/MSS.0b013e3181f684c9