

Marcadores bioquímicos relevantes del proceso de recuperación en fútbol

Diego Marqués-Jiménez¹, Julio Calleja-González¹, Iñaki Arratibel¹, Nicolás Terrados²

¹Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU), Vitoria-Gasteiz. ²Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias-Fundación Deportiva Municipal de Avilés y Departamento de Biología Funcional, Universidad de Oviedo.

Recibido: 09.06.2016

Aceptado: 13.07.2016

Resumen

Todas las sesiones de entrenamiento y competición suponen una oportunidad de mejora del rendimiento de los jugadores de fútbol, por lo que es primordial afrontar cada sesión de entrenamiento o partido en el mejor estado posible. A fecha actual, y para nuestro conocimiento, todavía existen dudas sobre las causas y los mecanismos subyacentes al proceso de fatiga y recuperación en fútbol, de ahí la complejidad de controlar este proceso. Existe una variedad de marcadores utilizados en la actualidad (de rendimiento, perceptivos y bioquímicos), algunos de los cuales pueden no ser adecuados debido a la posible fatiga adicional generada que influya en el seguimiento del proceso de la recuperación. Por ello, y a pesar de la dificultad de realizarse en algunas categorías en las que se disponga de los medios necesarios, la información que permiten obtener los marcadores bioquímicos debe ser considerada siempre que sea posible. Dado que su valoración permite optimizar el equilibrio entre el estrés competitivo y la recuperación de los jugadores de fútbol, el objetivo de esta revisión es analizar la importancia que puede tener el control, seguimiento y evaluación de diferentes marcadores bioquímicos dentro del proceso de recuperación en jugadores de fútbol. Teniendo en cuenta la alta variabilidad en su respuesta debido a las características individuales de los futbolistas y las diferencias metabólicas y fisiológicas que genera cada partido y/o entrenamiento, no podemos realizar un control adecuado del proceso de recuperación en fútbol utilizando únicamente un marcador bioquímico, pues es preciso valorar diferentes marcadores en conjunto. De hecho, deben considerarse como una opción que complemente la información obtenida a través de marcadores de rendimiento físico y/o perceptivo.

Palabras clave:

Recuperación.
Marcadores bioquímicos.
Fútbol.

Relevant biochemical markers of recovery process in soccer

Summary

Training and competition provide an opportunity to enhance the performance of football players, so is essential to face every training session or competition in the best possible condition. For our knowledge, there are still doubts about the causes and mechanisms underlying fatigue and recovery in football, hence the complexity of monitoring this process. A variety of biomarkers are used nowadays (performance, perceptual and biochemical), but some may not be suitable due to the probable fatigue caused that could influence the recovery process. Despite the difficulty of obtain them in some categories where is not plausible, the information of biochemical markers should be considered whenever was possible. Since its assessment let to optimize the balance between competitive stress and recovery of football players, the aim of this review is to analyze the importance of control, monitoring and evaluate different biochemical markers of recovery in soccer players. Even so, the high variability in their response due to the individual characteristics of players and the metabolic and physiological differences caused by a soccer match or training stop us from monitoring the recovery process in soccer using only one biochemical marker, it is necessary to assess several markers together. In fact, they should be considered as an option to complement the information obtained through physical performance and perceptible markers.

Key words:

Recovery.
Biochemical markers.
Soccer.

Correspondencia: Diego Marqués-Jiménez

E-mail: dmarques001@ikasle.ehu.eus

Introducción

Una adecuada recuperación se basa en la normalización de las funciones fisiológicas, el restablecimiento de la homeostasis, la restauración de las reservas energéticas, y la reposición de la energía celular enzimática¹. Aunque generalmente se asocia la recuperación a un proceso de retorno homeostático², debe contemplar no sólo el nivel fisiológico del deportista, sino también el psicológico y social. Así, la recuperación es un proceso fisiológico, psicológico y social, de naturaleza interindividual, y orientado a la recuperación de las habilidades de rendimiento específicas del deportista³, es decir, un importante componente del proceso de entrenamiento⁴. Debe tratar de contrarrestar todos los efectos de la fatiga (periféricos o centrales), y se considera completa cuando el jugador es capaz de alcanzar o superar la actividad de referencia⁵. Además, conocer el tipo de fatiga es fundamental para poder identificar la estrategia de recuperación idónea⁶.

En el fútbol profesional, la capacidad de recuperarse de un entrenamiento intenso o los partidos es un aspecto determinante del rendimiento^{7,8}: aquellos que recuperen más rápido su nivel de fatiga, tendrán una mayor ventaja para su rendimiento⁹, de modo que es primordial lograr un óptimo balance entre el estrés competitivo y la recuperación^{10,11}. Es realmente importante optimizar dicho proceso, dado que el deportista pasa más tiempo recuperando que entrenando¹². Así, el gran reto de entrenadores y deportistas es determinar el punto en el que las intensas demandas del entrenamiento y la competición generan un sobreentrenamiento no funcional que afecta negativamente al rendimiento¹³, y para ello debe monitorizarse el nivel de estrés y recuperación físico y psicosocial del deportista¹⁴ y tener el mismo nivel de atención que la programación y las sesiones de entrenamiento en sí mismas¹⁵. Por ello, la evaluación rutinaria de la fatiga y la recuperación es fundamental para mejorar la prescripción del entrenamiento y garantizar la preparación competitiva¹⁶.

Fútbol y recuperación: un estado-proceso complejo de valorar

Resulta difícil valorar la influencia real de la fatiga sobre la actividad física de los futbolistas si no se incorporan en los modelos explicativos algunas de las variables que recojan la influencia de los factores tácticos y estratégicos¹⁷. En conjunto, estos factores contribuyen a una magnitud de fatiga y daño muscular muy variable entre partidos¹⁸. Otros factores como el estado de forma, la edad¹⁹ y la tipología de la fibra muscular²⁰ pueden explicar las diferencias interindividuales en los procesos de fatiga-recuperación de los jugadores en un mismo equipo.

El periodo competitivo en fútbol implica ciclos semanales de entrenamiento, afinamiento, competición y recuperación²¹, repetido durante todo el macrociclo en función de las competiciones y los objetivos. El amplio número de competiciones genera una alta densidad competitiva en ciertos microciclos, las cuales, junto a las elevadas exigencias físicas, pueden generar un gran nivel de fatiga y estrés en los sistemas fisiológicos^{22,23}, afectando al tiempo para recuperarse por completo después de la competición²⁴.

Aunque se hayan demostrado mejoras a las 24 horas post-partido²⁵, se necesitan entre 48-72 para restaurar las alteraciones metabólicas, el daño muscular y el rendimiento anaeróbico posteriores a un partido de fútbol^{21,24,26-32}. Aun así, 3-4 días de recuperación entre partidos sucesivos pueden ser insuficientes para restaurar la homeostasis^{8,33}, haciendo muy complicada la consecución de una recuperación completa, asociada a descensos del rendimiento en épocas de gran densidad^{34,35}. Se ha demostrado que la recuperación post-partido y las adaptaciones inflamatorias en respuesta a un microciclo semanal de tres partidos (domingo, miércoles y domingo) muestran patrones de respuesta diferentes, con fuertes indicios de un estrés fisiológico y un grado de fatiga mayor cuantos menos días hay para recuperar³⁶. Ese insuficiente tiempo de recuperación entre partidos podría causar deterioro en el rendimiento y/o lesiones deportivas³⁷⁻⁴¹.

Además, y a pesar de que el daño muscular y la disminución del rendimiento físico se mantienen hasta 72 horas post-partido, la investigación sugiere que las distancias recorridas no se ven afectadas en periodos de alta densidad competitiva⁴². Varios estudios^{37,43-47} han analizado el perfil de la actividad física y las tasas de lesiones durante periodos con 2 o 3 partidos consecutivos en 7 días. Inesperadamente, señalan que la distancia recorrida a diferentes intensidades no está influenciada por el corto periodo de recuperación entre los partidos, sino que está determinada por variables contextuales que se dan durante los partidos. Hay casos en los que sí que se aprecia que la distancia recorrida es ligeramente mayor en la primera parte respecto a la segunda cuando los partidos se separan únicamente por 3 días⁴⁷. Asimismo, los jugadores generalmente son capaces de mantener el rendimiento en relación con las habilidades técnicas cuando compiten sucesivamente en cortos periodos de tiempo⁴⁸.

El sueño proporciona una serie de importantes funciones psicológicas y fisiológicas⁴⁹, pero en ocasiones es insuficiente para garantizar una total recuperación. De hecho, cuando los jugadores de élite compiten por la noche se produce una reducción de la cantidad y calidad del sueño y de la percepción de recuperación⁵⁰. Por ello, las estrategias de recuperación después del ejercicio son esenciales en la preparación del próximo partido²¹ o entrenamiento, las cuales deben aplicarse de modo individualizado en función de actividades realizadas durante los partidos⁵¹. Todavía se desconocen los efectos de las diferentes estrategias de recuperación tras tareas específicas de entrenamiento en fútbol, debido a la falta de estudios llevados a cabo en condiciones de campo o reales⁵², especialmente relativo a su capacidad para que el rendimiento posterior (en cuanto a distancias recorridas) no se vea afectado negativamente⁴².

Marcadores bioquímicos relevantes para medir la recuperación en fútbol

El concepto de biomarcador (marcador bioquímico) es una molécula o producto medible, que monitoriza objetivamente el cambio de una condición o proceso durante un tiempo, después de un tratamiento o después del entrenamiento⁵³. Actualmente no existe un consenso en cuanto su utilidad para la evaluación rutinaria de la fatiga y la recuperación de los deportistas de deportes de equipo^{18,54,55}. Frecuentemente

se utiliza una variedad de marcadores indirectos (subjetivos, neuromusculares, de rendimiento y bioquímicos) en reposo o durante acciones que requieren bajas demandas metabólicas y neuromusculares^{5,18,55,56}.

El cambio en el rendimiento específico (realizando la propia actividad deportiva) representa el marcador más relevante para diferenciar entre deportistas fatigados y recuperados¹⁶. Sin embargo, la mayoría de los test de campo para medir el rendimiento en fútbol son físicamente exigentes y provocan fatiga adicional, pudiendo alterar la cinética de recuperación respecto al ejercicio inicial^{18,57}. Por ello, los test deben seleccionarse buscando un equilibrio entre el número, la frecuencia y el orden para no afectar al proceso de recuperación¹⁸.

Es evidente que, en ocasiones, no resulta oportuna ni práctica la aplicación de test de condición física que permitan corroborar el grado de adaptación, asimilación y recuperación del entrenamiento, fundamentalmente debido al poco tiempo disponible para aplicarlos. También lo es que la carga física soportada por los futbolistas provoca un aumento en el metabolismo con importantes cambios hematológicos^{27,58}. Y ya que la concentración plasmática de los biomarcadores puede aportar mucha información sobre la recuperación necesaria, el estado de preparación para la próxima sesión de entrenamiento, o cuantificar la gravedad de la sesión de entrenamiento anterior⁵, su evaluación podría ser una opción realmente útil^{18,59}. Aun así, los biomarcadores no deberían reemplazar a los test de rendimiento, sino utilizarse en conjunto para ofrecer un mejor indicador del estado de recuperación metabólica⁶⁰.

Por ello, los entrenadores y deportistas tienen un interés cada vez mayor en conocer la evolución bioquímica a lo largo del proceso de entrenamiento⁶¹. Consecuentemente, los entrenadores podrán tomar decisiones más conscientes sobre la carga de entrenamiento que está soportando el futbolista y su estado de recuperación, consiguiendo maximizar la disponibilidad de jugadores²⁷. Tener este conocimiento permite:

- Modificar la planificación del volumen e intensidad de los entrenamientos.
- Realizar rotaciones y utilizar otros jugadores para minimizar la fatiga.
- Identificar cuando sería más adecuado dar descanso a los futbolistas.
- Aplicar más sesiones de recuperación.
- Mejorar la planificación de estrategias de nutrición para mejorar la recuperación.

Los biomarcadores están influenciados por varios factores y cumplen con una función de regulación metabólica del organismo⁶². Son, por tanto, el reflejo de una interacción múltiple y no única, de modo que la interpretación de los resultados debe ser prudente⁶³. Todavía no se ha identificado un biomarcador único que aporte información precisa¹³, así que se debe utilizar una combinación de todos ellos para considerar todos los posibles mecanismos que contribuyen a la fatiga y realizar el seguimiento del estrés de entrenamiento en relación con el rendimiento en fútbol^{16,18,58,64}.

Valoración de enzimas plasmáticas

En los deportes de equipo, se ha observado que existe destrucción muscular⁶⁵ medido en el aumento de los niveles de diferentes enzimas musculares, consideradas fiables biomarcadores del estado funcional del tejido muscular⁶⁶.

Los altos niveles de CK-III pueden vincularse al estado de entrenamiento, y si estos niveles persisten en reposo puede ser una indicación de síndrome de sobreentrenamiento o una ingesta nutricional inadecuada⁶⁷. De todos modos, dada la considerable variabilidad individual en su respuesta, quizás la CK-III no sea tan relevante como marcador de daño muscular, y, por tanto, del estado de recuperación⁵⁶.

Parece ser que la actividad sérica de CK-III alcanza valores máximos entre 6-24 horas post-ejercicio y vuelve a la normalidad entre 48-72 horas⁶⁸. Sería de esperar que los futbolistas ya tuviesen una concentración normal de CK-III transcurrido ese tiempo, dependiendo de las actividades físicas que realice el deportista durante ese periodo. En el futbolistas, las concentraciones suelen oscilar entre 83 y 1492 U/L⁶⁹.

Se ha confirmado el incremento de la CK-III sanguínea tras un partido de fútbol⁷⁰, siendo pequeños los aumentos post-partido si los niveles pre-partido son elevados⁷¹, pero pueden ser del 84% ($p = 0,17$) cuando hay niveles basales normales³². Algunos estudios han encontrado incrementos de CK-III ($P < 0,01$) a las 18 horas post-partido en futbolistas femeninas de élite y sub-élite⁷². Sin embargo, gran parte de los estudios han detectado concentraciones máximas de CK-III a las 24⁷³⁻⁷⁵, 48^{28,33,76-78}, y 72 horas²¹. Generalmente, a mayor concentración, más tiempo tarda en volver a valores basales. Puede que esta respuesta sea consistente ($p > 0,05$) entre los diferentes partidos y posiciones de juego³¹, aunque también se ha señalado que su concentración tiene poca relación con las posiciones de juego⁷⁹. En lo relativo al género se han podido observar similares concentraciones de CK-III hasta las 48 horas post-partido, siendo máximas en ambos géneros a las 24 horas⁷⁵. Recientemente se han mostrado correlaciones significativas entre la distancia cubierta a velocidad ≤ 21 km/h y la concentración de CK-III a las 24 ($r = 0,56$) y 48 horas ($r = 0,54$), y entre la concentración de CK-III a las 48 horas y la distancia cubierta a velocidad > 14 km/h ($r = 0,50$), aceleraciones ($r = 0,48$), y desaceleraciones ($r = 0,58$)⁷³.

En un estudio en el que se observó los niveles plasmáticos de CK-III en futbolistas de primera división durante los diversos días del microciclo semanal, se demostró que los lunes se presentaron los niveles más altos de CK-III (697 U/l), y que los viernes se presenta el nivel más bajo (241,7 U/l) en consideración al decrecimiento gradual de las cargas físicas del microciclo⁸⁰. Es más, si un equipo de fútbol tiene un partido por semana, la recuperación adecuada puede ser programada en la semana de entrenamiento para permitir la regeneración muscular, pero si hay dos partidos por semana, probablemente numerosos jugadores tengan que entrenar, incluso competir, con niveles altos de CK-III⁷⁶. En contraposición, otro estudio mostró con un seguimiento durante una temporada en futbolistas de élite que los niveles de CK-III no manifiestan alteraciones significativas entre los periodos de alta y baja densidad competitiva⁸¹. Es más, tampoco se han observado cambios en la CK-III en un período de entrenamiento de 12 semanas en 15 jugadores de fútbol, probablemente debido a la diferencia en las intensidades de entrenamiento y las sesiones de recuperación que se realizaron en el periodo de entrenamiento⁸². Para evitar estas contradicciones son necesarios más estudios longitudinales sobre las variaciones de la CK-III en respuesta a la carga de los jugadores de élite⁸¹ que nos permitan conocer más sobre cuándo y cómo implementar sesiones o medios específicos de recuperación.

Asimismo, en futbolistas femeninas de élite y sub-élite, se han encontrado incrementos post-partido de LDH ($P < 0,01$)⁷². Estos incre-

mentos pueden ser máximos a las 48 horas post-partido²⁸ y mantenerse incluso hasta 72 horas post-competición^{21,28}. El comportamiento del LDH muestra el mismo patrón que la CK-III: los valores de LDH pueden disminuir conforme avanzan los días del microciclo semanal, siendo los lunes los días en los que haya mayores concentraciones (149,7 U/l) y los viernes los que menos (94 U/l)⁸⁰.

Aun así, y a pesar de la reciente investigación de las respuestas agudas en futbolistas de elite, poco se sabe de las variaciones enzimáticas a lo largo de una temporada. Es posible que durante la temporada haya momentos en los que las respuestas fisiológicas sean específicas, de modo que la recolección de datos de biomarcadores podrían proporcionar una valiosa información sobre el estado de recuperación y la predisposición a entrenar de los jugadores⁸³.

Valoración de proteínas

El daño muscular inicia una respuesta inflamatoria local que implica la producción de citoquinas¹⁸, proteínas cuya acción fundamental consiste en la regulación del mecanismo de la inflamación, mediante mecanismos pro-inflamatorios y anti-inflamatorios. La presencia de algunas de estas citoquinas en el plasma tras el ejercicio intenso, pueden persistir durante días o semanas, mientras se producen la reparación, regeneración y crecimiento muscular^{84,85}. También pueden ser desencadenantes de fatiga central y/o alteraciones de los ejes hormonales (86).

La Interleucina 6 (IL-6) se produce en cantidades mayores que cualquier otra citoquina y juega un papel inicial en la cascada de citoquinas, pues precede a otras^{28,84,87,88}. En el fútbol aumenta inmediatamente después del partido, pero desciende rápidamente hacia los niveles de pre-partido y se normaliza generalmente a las 24^{28,89} o 48 horas post-partido, a pesar de que el número de neutrófilos todavía puede permanecer elevado⁷⁸. También se han encontrado correlaciones ($r = 0,521$, $p = 0,027$) entre los valores post-partido de IL-6 y la distancia recorrida durante el partido⁷⁸.

Se han detectado aumentos en IL-6 y Factor de Necrosis Tumoral (TNF- α) entre 2 y 4 veces por encima de los valores en reposo, siendo los valores máximos los obtenidos inmediatamente después del partido, mientras que el incremento de proteína C reactiva (CRP) alcanzó una concentración máxima a las 24 horas post-partido⁷⁵. A pesar de que la respuesta de IL-6 y CRP puede ser similar en futbolistas de ambos géneros, los valores máximos de TNF- α pueden ser un 18% mayor en los hombres que en las mujeres. De todos modos, el aumento en la fase aguda de la CRP puede darse hasta las 24-48 horas post-ejercicio^{77,90}. Esta es más sensible que la CK, LDH y mioglobina (Mb) para evaluar el daño muscular en actividades con impacto⁹¹. Aunque no parezca haber diferencias en la concentración de inmunoglobulina A (IgA), M (IgM) o G (IgG), se han detectado aumentos post-partido respecto a valores pre-partido del 238% ($p = 0,05$) en Mb, los cuales correlacionaron con el número de sprints realizados durante el partido ($r = 0,75$, $p = 0,047$)³². Además, el incremento de la Mb plasmática puede mantenerse incluso hasta 72 horas^{21,28,77}.

Valoración de otros productos del metabolismo

Durante un partido de fútbol también se generan especies reactivas de oxígeno (ROS) debido a los altos valores de consumo de oxígeno

requeridos y a los fenómenos de isquemia muscular²¹. Este aumento puede derivar en el estrés oxidativo, cuyo marcador más utilizado en fútbol es el ácido úrico²⁸, que refleja el estado de recuperación del glucógeno muscular⁹². Se ha demostrado que su concentración incrementa inmediatamente después de un partido de fútbol⁹³ y que se mantiene elevado hasta 48³³, 72²¹, incluso 96 horas post-partido en jugadores adultos masculinos²⁸. También hay estudios que muestran que, a pesar de elevarse en un rango de 11-75% en el post-partido, puede volver a valores basales a partir de las 21 horas post-partido^{8,26,94}. Aparte del ácido úrico se han estudiado otros marcadores de estrés oxidativo y antioxidantes después de un partido de fútbol^{26,28,33,94,95}, pero las comparaciones entre los estudios son difíciles en tanto que los biomarcadores estudiados son diferentes.

Por encima del 65% $VO_{2\text{máx}}$, un aumento en la concentración de urea puede indicar aumento del catabolismo proteico⁹⁶. Por ello, es un buen parámetro de control de la carga de entrenamiento y de los procesos de recuperación, especialmente del glucógeno muscular^{97,98}. Si 24 horas post-ejercicio no se han recuperado los valores basales de urea en sangre, es indicativo de una recuperación insuficiente⁹⁹: se debería realizar otro día de descanso o una sesión de recuperación para estimular adaptaciones funcionales adecuadas en los futbolistas. A pesar de las escasas investigaciones con futbolistas de elite, varios estudios han detectado incrementos significativos en las concentraciones post-partido de urea^{70,89}. Parece ser que durante una temporada no hay alteraciones significativas en los niveles de urea entre los periodos de alta y baja densidad competitiva⁸¹, ni en periodos de entrenamiento de 12 semanas⁸². De hecho, puede que haya partidos que no demanden esfuerzos físicos que provoquen cambios en su concentración⁷⁰. La deshidratación¹⁰⁰ también puede afectar a los valores encontrados en futbolistas. Los elevados niveles post-partido de urea pueden reducirse con una correcta dieta e hidratación, elemento fundamental del entrenamiento en futbolistas de elite⁹⁷.

La concentración de lactato sanguíneo también es un buen indicador (conociendo siempre los valores previos del deportista) del grado de sollicitación metabólica de una determinada carga de entrenamiento. Por ello, su valoración se puede realizar durante el ejercicio y la recuperación⁶³. El ión amonio (NH_4) puede tener un valor de marcador de fatiga en la medida que su acumulación en sangre y músculo puede ser un potente inhibido metabólico. A su vez, los niveles bajos de lactato y elevados de amonio puede sugerir un vaciamiento de los depósitos de glucógeno⁶³, haciendo necesaria una mejor recuperación. Asimismo, la alanina o el aumento de cuerpos cetónicos indican un vaciamiento del glucógeno muscular, utilización de otros sustratos energéticos y aumento de destrucción proteica¹⁰¹.

Valoración hormonal

El seguimiento de ciertos parámetros hormonales de futbolistas podría ser útil para valorar los procesos de entrenamiento, recuperación y sobrentrenamiento¹⁰². De hecho, estudios de nuestro grupo de trabajo en baloncesto⁸⁶ muestran alteraciones en los ejes hormonales relacionados con fatiga central, y cuyos resultados pueden extrapolarse al fútbol. Exceptuando el Índice o Ratio Testosterona/Cortisol (T/C) y la testosterona (T), el resto no parecen ser muy sensibles al seguimiento a largo plazo, sobre todo en deportistas de elite^{103,104}.

Existe una gran dispersión en la elección de la fracción de T a analizar: total (TT) o libre (TL)¹⁰⁵. La TT es la suma entre la T unida a la albúmina y la TL^{106,107}, por lo que se ha propuesto el control de la fracción libre como indicador de la actividad de esta hormona. Se observa una tendencia de la TL a elevarse en entrenamientos con un gran componente anaeróbico o de fuerza y a disminuir en deportes de resistencia aeróbica¹⁰⁸. Cuando el ejercicio se alarga hasta el agotamiento se observan descensos de T de hasta un 40%¹⁰⁹, llegando incluso al 59% durante los 30 primeros minutos de la recuperación¹¹⁰. Aun habiendo excepciones, la mayoría de los estudios han encontrado descensos de T asociados a estados de sobreentrenamiento^{4,108,111-113}.

Como consecuencia de las demandas fisiológicas experimentadas durante una temporada de fútbol, la relación antagonista entre los procesos anabólicos y catabólicos puede afectar al rendimiento¹¹⁴. En jugadores que fueron profesionales al menos dos temporadas se han encontrado valores de TT de $944,1 \pm 78,3$ ng/dl y de TL de $36 \pm 0,8$ pg/dl⁷¹. Se han hallado valores de T significativamente inferiores al inicio de un periodo de competitivo de 11 semanas respecto al final del periodo, los cuales fueron bajos aunque dentro de los rangos normales ($10,4 - 41,6$ nmol.L⁻¹). Además, las diferencias en los niveles de T eran similares entre los titulares y suplentes a pesar de la diferencia de minutos jugados, excepto a mitad del periodo competitivo, cuando los suplentes tuvieron valores significativamente más elevados¹¹⁴. En esta misma línea, se han mostrado incrementos significativos (11,6%) en su concentración a final de pretemporada respecto al inicio, los cuales se mantuvieron (12,1%) hasta mitad de temporada, a pesar de que a final de la misma volvieron a niveles basales (-1,5%)¹¹⁵. Estos datos muestran que una adecuada planificación no implica descensos de T que reflejen la acumulación de fatiga a lo largo de la temporada. Las diferencias en las concentraciones dependiendo del momento de la temporada ha sido confirmada por diferentes estudios^{102,116}. Durante el periodo de transición no se han encontrado cambios significativos en las concentraciones de TT y TL ni realizando un programa de entrenamiento para ese periodo¹¹⁷.

Además, los niveles de T en saliva de futbolistas son significativamente más altos antes de competir como local respecto a hacerlo como visitante, y antes de jugar contra un rival considerado como fuerte respecto a hacerlo contra uno débil¹¹⁸. El resultado del partido también parece influir en su concentración¹¹⁹, por lo que debemos tener en cuenta este factor si se analizan partidos de fútbol oficiales. Si además del entrenamiento en fútbol se realizan entrenamientos de fuerza con alto volumen, los valores de TT y TL incrementan¹²⁰.

Todos estos factores provocan respuestas diferentes de la T frente al estrés metabólico de un partido. A pesar de estudios que no han encontrado cambios en la T durante los 6 días post-partido²⁸, otros encontraron aumentos post-partido significativos del 44% ($p = 0,004$) en futbolistas semi-profesionales³² y de TL con futbolistas femeninas de élite y sub-élite⁷². Contrariamente, en jóvenes jugadores de fútbol se han encontrado reducciones hasta las 72 horas posteriores a partidos de competición en días consecutivos¹²¹, probablemente debido al carácter extenuante de los partidos. En futbolistas de élite, la concentración en saliva después de jugar un partido amistoso de carácter internacional se redujo un 30,6% respecto a los niveles pre-partido, acompañado de un descenso de la IgA de un 74,5%¹²². En ese mismo estudio, los cambios en la concentración de T correlacionaron ($r = 0,85$) con la distancia

recorrida, así que parece ser que los futbolistas con menos descensos en los niveles de T recorren mas distancia y tiene menos descensos de su función inmune.

El cortisol (C) es la principal hormona responsable de la movilización de los ácidos grasos y aminoácidos para utilizarse como fuente de energía¹²³. También contribuye al proceso catabólico de reducción de la síntesis proteica, aumento de la degradación de proteínas e inhibición del proceso inflamatorio e inmunidad³². Dado que el aumento del C muestra una relación directa con el estrés psicofisiológico⁶¹, pueden encontrarse niveles aumentados de esta hormona ante grandes cargas de entrenamiento^{108,124,125}.

En fútbol se han encontrado resultados contradictorios, probablemente debidos a la gran variabilidad en su respuesta¹²⁶. Aun así, parece ser que el C podría ser utilizado para monitorear los procesos de recuperación y como marcadores de fatiga en futbolistas, incluso por periodos cortos de tiempo^{78,127}. A lo largo de una temporada la concentración de esta hormona muestra una gran variabilidad¹⁰², con incrementos significativos con el transcurso de esta¹²⁷. Se han detectado diferentes concentraciones en pretemporada y al final de la temporada, las cuales fueron altas, aunque dentro de los rangos normales ($138-635$ nmol.L⁻¹), pero similares entre los titulares y suplentes, a pesar de la diferencia de minutos jugados¹¹⁴. En otro estudio, la concentración de esta hormona disminuyó a final de pretemporada respecto al inicio (-5,3%), incrementó a mitad de temporada (23,4%), y volvió a valores basales a final de la misma (2,8%)¹¹⁵. La carga de entrenamiento, la presión por conseguir los resultados y las condiciones meteorológicas adversas podrían ser responsables de este aumento a mitad de temporada¹¹⁵. En futbolistas profesionales se han hallado incrementos significativos de C con sólo 6 semanas de entrenamiento a alta intensidad ($554,6 \pm 95,3$ nmol.L⁻¹; $p \leq 0,05$) y con 12 semanas ($612,2 \pm 115,8$ nmol.L⁻¹; $p \leq 0,05$) respecto al pre-entrenamiento⁸². Estos autores afirman que la intensidad del entrenamiento en fútbol juega un papel fundamental en su respuesta. También se ha detectado un aumento significativo después de un periodo de entrenamiento de 7 días ($p < 0,001$), tanto al despertarse como a medianoche¹²⁸.

Algunos estudios con futbolistas de élite no han encontrado cambios en la concentración de C en saliva¹²², o incrementos no significativos¹²⁶, justificando esta respuesta a la gran variabilidad individual en la respuesta y la adaptación a este estrés competitivo de los jugadores. De todos modos, parece evidente que los valores post-partido de C son significativamente más elevados que los pre-partido, 78% ($p = 0,103$) en futbolistas semi-profesionales³², aunque parecen volver a niveles basales entre 24 horas²⁸ y 48 h post-partido⁷⁷. También se ha sugerido que la necesidad de 72 horas para garantizar una óptima recuperación en futbolistas, debido a la alteración observada de algunos marcadores de daño muscular²⁸. Asimismo, se ha encontrado que la distancia recorrida durante el partido correlaciona con los valores post 24 ($r = 0,502$, $p = 0,034$) y post 48 horas de C ($r = 0,515$, $p = 0,029$)⁷⁸. Aun así, se hace precisa más investigación para corroborar estos resultados, ya que todavía no se conoce el comportamiento en las concentraciones de C tras partidos de fútbol en días consecutivos¹²¹.

El Índice T/C se utiliza como indicador de la relación entre anabolismo (síntesis) y catabolismo (destrucción) de nuestro sistema corporal⁶³, y de la carga interna de entrenamiento en el deportista, ya que permite

individualizar las cargas de entrenamiento¹⁰⁸. Consecuentemente, se suele utilizar para valorar los procesos de recuperación y detectar una posible mala adaptación al entrenamiento, o bien diagnosticar el síndrome de sobreentrenamiento^{61,129}. La disminución de este cociente indicaría un predominio de los procesos catabólicos, pudiendo conllevar reducción del rendimiento, mientras que un aumento indicaría un predominio de los procesos anabólicos (sobrecompensación)^{130,131}. La bibliografía consultada indica un valor de referencia para diagnosticar sobreentrenamiento con un descenso superior a 0,3 (>30%)¹³².

La utilidad de este índice para monitorizar la asimilación del entrenamiento durante una temporada se ha demostrado en deportes de equipo^{86,133}, y concretamente en fútbol, se ha propuesto que es más útil evaluar la variación del ratio respecto a valores basales que la utilización de valores absolutos como umbrales de diagnóstico¹³⁴. De hecho, resultados con futbolistas de élite podrían sugerir que una disminución del ratio T/C superior al 30% no conduce automáticamente a una disminución en el rendimiento del equipo o a un estado de sobreentrenamiento⁵⁸. En un seguimiento de un equipo el Ratio T/C mostró cambios significativos durante la temporada¹¹⁵. El valor inicial se incrementó en 12,1% al final de pretemporada ($0,37 \pm 0,03$), a mitad de temporada disminuyó en un 15,2% ($0,28 \pm 0,02$) en comparación con la medición inicial ($p < 0,05$) y al final de la temporada, el valor era 9,1% menor ($0,30 \pm 0,02$) que al inicio de pretemporada. Similares resultados se han encontrado en otro estudio¹⁰². Se ha sugerido que durante la pretemporada los jugadores no están fatigados y pueden responder adecuadamente a las exigencias del entrenamiento, pero que a mitad de temporada, el descenso del ratio T/C se debe a la carga de entrenamiento, la presión por conseguir los resultados, las condiciones meteorológicas adversas y el aumento del C¹⁵. De hecho, no tiene porque vincularse a un estado de sobreentrenamiento sino a una incapacidad de adaptación y a una disfunción hormonal¹⁰².

A pesar de no haberse observado diferencias en los valores pre-partido y post-partido en el ratio T/C en futbolistas semi-profesionales tras un partido competitivo³², se ha señalado un descenso post-partido en este ratio del 64,2%, indicador del estrés catabólico de un partido¹²². En consonancia con este resultado, se ha confirmado que el ratio T/C puede disminuir hasta las 48 horas post-partido ($p < 0,05$)⁷⁷. Estos resultados parecen confirmar que el ratio T/C es muy variable en futbolistas del mismo nivel de entrenamiento.

Conclusión

Diferentes autores han señalado la relevancia que la recuperación tiene en el rendimiento deportivo, pues constituye uno de los principios básicos del entrenamiento. Para valorar este proceso se han utilizado diferentes biomarcadores, entre los cuales se encuentran los bioquímicos. Su control, seguimiento y evaluación proporciona una comprensión de cómo un futbolista se recupera de la competición y/o entrenamiento y facilita una guía práctica sobre cuando pueden ser más vulnerables a lesiones y estados de sobreentrenamiento no funcionales. Bajo nuestro punto de vista, parece que la CK y los parámetros hormonales son los biomarcadores de mayor relevancia. El problema principal es que estas mediciones pueden ser costosas económicamente y con pocas posibilidades de realizar en el campo de entrenamiento^{5,135}. Además,

y con el fin de hacer interpretaciones significativas, los entrenadores deben ser conscientes de la variabilidad individual, entre partidos y entrenamientos de estos marcadores.

Bibliografía

1. Jeffreys I. A Multidimensional Approach to Enhancing Recovery. *Strength Cond J*. 2005; 27(5): 78-85.
2. Wilcock I. The effect of water immersion, active recovery and passive recovery on repeated bouts of explosive exercise and blood plasma fraction. [Tesis Doctoral] Auckland University of Technology, Auckland, 2005.
3. Kellmann M, Kallus KW. Recovery-stress questionnaire for athletes: user manual. Champaign, IL. *Human Kinetics*; 2001;22.
4. Fry RW, Morton AR, Keast D. Overtraining in athletes. *Sports Med*. 1991;12(1):32-65.
5. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: A brief review. *J Strength Cond Res*. 2008; 22(3): 1015-24.
6. Terrados N, Calleja-González J, Jukic I, Ostojic SM. Physiological and medical strategies in post-competition recovery—practical implications based on scientific evidence. *Serb J Sports Sci* 2009;3(1-4):29-37.
7. Carling C, Le Gall F, Dupont G. Are Physical Performance and Injury Risk in a Professional Soccer Team in Match-Play Affected Over a Prolonged Period of Fixture Congestion? *Int J Sport Med*. 2012;33(1):36-42.
8. Andersson HM, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 2008; 40(2): 372-80.
9. Terrados N, Calleja-González J, Schelling X. Bases fisiológicas comunes para deportes de equipo. *Rev Andaluza Med Deporte*. 2011;2(2):84-8.
10. Barnett A. Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes. *Sports Med*. 2006;36(9):781-96.
11. Hooper SL, Mackinnon LT. Monitoring overtraining in athletes. *Sports Med*. 1995;20(5): 321-7.
12. Calleja-González J, Terrados N, Mielgo-Ayuso J, Deletrat A, Jukic I, Vaquera A, et al. Evidence-based post-exercise recovery strategies in basketball. *Phys Sportsmed*. 2015; 43(4):1-5
13. Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med*. 2014; 44(2):139-47.
14. van der Does H, Brink M, Visscher C, Huijgen B, Frencken W, Lemmink K. The Effect of Stress and Recovery on Field-test Performance in Floorball. *Int J Sports Med*. 2015; 36(06):460-5.
15. Hausswirth DC, Le Meur Y. Physiological and Nutritional Aspects of Post-Exercise Recovery. *Sports Med*. 2011;41(10):861-82.
16. Wiewelshove T, Raeder C, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A. Markers for Routine Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Team Sport Athletes during High-Intensity Interval Training. *PLoS one*. 2015;10(10).
17. Lago Peñas C, Martín Acero R, Seirul-lo Vargas F, Álvaro Alcalde J, Hernández Moreno J, Sánchez Sánchez F, et al. La relación de la fatiga con el rendimiento en deportes de equipo. *Rev Entren Deporte*. 2011;4:5-15.
18. Nédélec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont DG. Recovery in Soccer. *Sports Med*. 2012;42(12):997-1015.
19. Fell J, Williams AD. The effect of aging on skeletal-muscle recovery from exercise: possible implications for aging athletes. *J Aging Phys Act*. 2008;16(1):97.
20. Magal M, Dumke CL, Urbiztondo ZG, Cavill MJ, Triplett NT, Quindry JC, et al. Relationship between serum creatine kinase activity following exercise-induced muscle damage and muscle fibre composition. *J Sport Sci*. 2010;28(3):257-66.
21. Ascensão A, Rebelo A, Oliveira E, Marques F, Pereira L, Magalhães J. Biochemical impact of a soccer match—analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. *Clin Biochem*. 2008;41(10):841-51.
22. Rainer P. The physiological effect of playing three simulated matches in a week: implications for overtraining/overplaying. En: Reilly T, Bangsbo J, Hughes M, editors. *Science and Football III*. London: E y FN Spon; 1997;350-4.
23. Reilly T, Ekblom B. The use of recovery methods post-exercise. *J Sport Sci*. 2005;23(6): 619-27.
24. Nédélec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *J Strength Cond Res*. 2014; 28(6):1517-23.

25. Krstrup P, Ørtenblad N, Nielsen J, Nybo L, Gunnarsson TP, Iaia FM, et al. Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 h after a high-level competitive soccer game. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(12):2987-95.
26. Magalhães J, Rebelo A, Oliveira E, Silva JR, Marques F, Ascensão A. Impact of Loughborough Intermittent Shuttle Test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(1):39-48.
27. Heisterberg MF, Fahrenkrug J, Krstrup P, Storskov A, Kjær M, Andersen JL. Extensive monitoring through multiple blood samples in professional soccer players. *J Strength Cond Res*. 2013;27(5):1260-71.
28. Ispirilidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis I, Douroudos I, et al. Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med*. 2008;18(5):423-31.
29. Krstrup P, Zebis M, Jensen JM, Mohr M. Game-induced fatigue patterns in elite female soccer. *J Strength Cond Res*. 2010;24(2):437-41.
30. Nybo L. Brain temperature and exercise performance. *Exp Physiol*. 2012;97(3):333-9.
31. Russell M, Northeast J, Atkinson G, Shearer DA, Sparkes W, Cook CJ, et al. The between-match variability of peak power output and Creatine Kinase responses to soccer match-play. *J Strength Cond Res*. 2015; 29(8): 2079-85.
32. Thorpe R, Sunderland C. Muscle damage, endocrine, and immune marker response to a soccer match. *J Strength Cond Res*. 2012;26(10):2783-90.
33. Fatouros IG, Chatzinikolaou A, Douroudos I, Nikolaidis MG, Kyparos A, Margonis K, et al. Time-course of changes in oxidative stress and antioxidant status responses following a soccer game. *J Strength Cond Res*. 2010;24(12):3278-86.
34. Brady K, Maile A, Ewing B. An investigation into the fitness of professional soccer players over two seasons. En: Reilly T, Bangsbo J, Hughes M. *Science and Football III*. London: E and FN. Spon; 1997. p. 118-22.
35. Rebelo AN, Candeias JR, Fraga MM, Duarte JA, Soares JM, Magalhaes C, et al. The impact of soccer training on the immune system. *J Sports Med Phys Fitness*. 1998;38(3):258-61.
36. Mohr M, Draganidis D, Chatzinikolaou A, Barbero-Álvarez JC, Castagna C, Douroudos I, et al. Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. *Eur J Appl Physiol*. 2015;1-15.
37. Dupont G, Nédélec M, McCall A, McCormack D, Berthoin S, Wisløff U. Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med*. 2010; 38(9):1752-8.
38. Ekstrand J, Gillquist J, Möller M, Oberg B, Liljedahl S-O. Incidence of soccer injuries and their relation to training and team success. *Am J Sports Med*. 1983;11(2):63-7.
39. Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *Brit J Sport Med*. 2004;38(4):493-7.
40. Lehmann M, Foster C, Gastmann U, Keizer H, Steinacker JM. Definition, types, symptoms, findings, underlying mechanisms, and frequency of overtraining and overtraining syndrome. En: Lehmann M, Foster C, Gastmann U, Keizer H, Steinacker J. *Overload, Fatigue, performance incomplete, and regeneration in sport*. New York: Plenum; 1999. p. 1-6.
41. Parry-Billings M, Newsholme EA. The overtraining syndrome: some biochemical aspects. En: Macleod D, Maughan R, Williams C, Madeley C, Sharp J, Nutto R, editors. *Intermittent high intensity exercise: Preparation, stresses and damage limitation*. London: E and FN. Spon; 1992. p. 281-281.
42. Carling C, Gregson W, McCall A, Moreira A, Wong DP, Bradley PS. Match Running Performance During Fixture Congestion in Elite Soccer: Research Issues and Future Directions. *Sports Med*. 2015;45(5):605-13.
43. Lago-Peñas C, Rey E, Lago-Ballesteros J, Casáis L, Domínguez E. The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *J Strength Cond Res*. 2011; 25(8): 2111-7.
44. Odetoynbo K, Wooster B, Lane A. The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. En: Reilly T, Korkusuz F, editors. *Science and football VI*. London: Routledge; 2008. p. 182-5.
45. Lago C. The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional association football. *J Sport Sci*. 2009;27(13):1463-9.
46. Lago C, Casais L, Domínguez E, Sampaio J. The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *Eur J Sport Sci*. 2010;10(2):103-9.
47. Rey E, Lago-Peñas C, Lago-Ballesteros J, Casais L, Dellal A. The effect of cumulative fatigue on activity profiles of professional soccer players during a congested fixture period. *Biol Sport*. 2010;27(3):181-5.
48. Carling C, Dupont G. Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *J Sport Sci*. 2011; 29(1):63-71.
49. Nédélec M, Halson S, Abaidia A-E, Ahmaidi S, Dupont G. Stress, sleep and recovery in elite soccer: a critical review of the literature. *Sports Med*. 2015;45(10):1387-400.
50. Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Julian R, Bartlett J, Meyer T. Impaired sleep and recovery after night matches in elite football players. *J Sports Sci*. 2016;34(14):1333-9.
51. Young WB, Hepner J, Robbins DW. Movement demands in Australian rules football as indicators of muscle damage. *J Strength Cond Res*. 2012;26(2):492-6.
52. Tessitore A, Meeusen R, Cortis C, Capranica L. Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *J Strength Cond Res*. 2007;21(3):745-50.
53. Palacios G, Pedrero-Chamizo R, Palacios N, Maroto-Sánchez B, Aznar S, González-Gross M, et al. Biomarkers of physical activity and exercise. *Nutr Hosp*. 2015; 31 (Supl 3):237-44.
54. Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Med. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(1):186-205.
55. Urhausen A, Kindermann W. Diagnosis of overtraining. *Sports Med*. 2002; 32(2):95-102.
56. Lanier AB. Use of nonsteroidal anti-inflammatory drugs following exercise-induced muscle injury. *Sports Med*. 2003;33(3):177-86.
57. Bangsbo J, Lindquist F. Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. *Int J Sports Med*. 1992;13(2):125-32.
58. Filaire E, Bernain X, Sagnol M, Lac G. Preliminary results on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *Eur J Appl Physiol*. 2001;86(2):179-84.
59. Nikolaidis MG, Protosyggellou MD, Petridou A, Tsalis G, Tsigilis N, Mougios V. Hematologic and biochemical profile of juvenile and adult athletes of both sexes: implications for clinical evaluation. *Int J Sports Med*. 2003;24(7):506-11.
60. Bessa A, Oliveira VN, De Agostini GG, Oliveira RJ, Oliveira AC, White G, et al. Exercise intensity and recovery: Biomarkers of injury, inflammation and oxidative stress. *J Strength Cond Res*. 2013;30(2):311-9.
61. Gleeson M. Biochemical and immunological markers of over-training. *J Sports Sci Med*. 2002;1(2):31.
62. Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM, Lopez-Grueso R. Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. *Rev Esp Nutr Hum Diet*. 2013;17(2):73-83.
63. Terrados N, Mora Rodríguez R, Padilla S. *La recuperación de la fatiga del deportista*. Madrid: Gymnos; 2004. 186
64. Finsterer J, Drory VE. Wet, volatile, and dry biomarkers of exercise-induced muscle fatigue. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2016;17:40.
65. Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. Metabolic markers in Sports Med. *Adv Clin Chem*. 2012;56:2.
66. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull*. 2007;81(1):209-30.
67. Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF. Creatine-kinase-and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metabol*, vol. (revista electrónica) vol. 2012 (consultado 08/06/2016). Disponible en: <http://www.hindawi.com/journals/jnme/2012/960363/cta/>
68. Brancaccio P, Limongelli FM, Maffulli N. Monitoring of serum enzymes in sport. *Br J Sports Med*. 2006; 40(2):96-7.
69. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med*. 2007;41(10):674-8.
70. Hübner E, Szmuchrowsky L, Lutoslawska G. Effects of soccer match-play on selected blood biochemical variables. *Biol Sport*. 1994;11(2):83-9.
71. Hackney AC, Machado M. Hormonal status, creatine kinase and soccer: a need for research. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2012;56(9):683-5.
72. Gravina L, Ruiz F, Lekue JA, Irazusta J, Gil SM. Metabolic impact of a soccer match on female players. *J Sport Sci*. 2011;29(12):1345-52.
73. de Hoyo M, Cohen DD, Sañudo B, Carrasco L, Álvarez-Mesa A, Del Ojo JJ, et al. Influence of football match time-motion parameters on recovery time course of muscle damage and jump ability. *J Sports Sci*. 2016;34(14):1363-70.
74. Djaoui L, Diaz-Cidoncha Garcia J, Hautier C, Dellal A. Kinetic Post-match Fatigue in Professional and Youth Soccer Players During the Competitive Period. *Asian J Sports Med*. 2016;7(1):e28267.
75. Souglis AG, Papapanagiotou A, Bogdanis GC, Travlos AK, Apostolidis NG, Geladas ND. Comparison of inflammatory responses to a soccer match between elite male and female players. *J Strength Cond Res*. 2015;29(5):1227-33.
76. Lazari FL, Antunes-Neto JM, da Silva FO, Nunes LA, Bassini-Cameron A, Cameron L-C, et al. The upper values of plasma creatine kinase of professional soccer players during the Brazilian National Championship. *J Sci Med Sport*. 2009;12(1):85-90.

77. Silva JR, Ascensão A, Marques F, Seabra A, Rebelo A, Magalhães J. Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(9):2193-201.
78. Romagnoli M, Sanchis-Gomar F, Alis R, Riso-Ballester J, Bosio A, Graziani RL, et al. Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015 Nov 11. [Epub ahead of print].
79. Jastrzebski Z, Jastrzebski, Z. Serum creatine kinase (CK) activity in Polish Olympic Team football players, during a playing period: no relation to maximum power test. *Med Sport*. 2001;17(12):456-8.
80. Jastrzebski Z. Changes of chosen blood parameters in football players in relation to applied training loads during competition. *Biol Sports*. 2006;23(1):85.
81. Meister S, Faude O, Ammann T, Schnitker R, Meyer T. Indicators for high physical strain and overload in elite football players. *Scand J Med Sci Sports*. 2013;23(2):156-63.
82. Silva ASR, Santhiago V, Papoti M, Gobatto CA. Psychological, biochemical and physiological responses of Brazilian soccer players during a training program. *Sci Sports*. 2008;23(2):66-72.
83. Owen A, Dunlop G, Rouissi M, Chtara M, Paul D, Zouhal H, et al. The relationship between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. *J Sport Sci*. 2015;33(20):2100-5.
84. Pedersen BK. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: exercise and cytokines. *Immunol Cell Biol*. 2000;78(5):532-5.
85. Tidball JG. Inflammatory processes in muscle injury and repair. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2005;288(2):R345-53.
86. Schelling X, Calleja-González J, Torres-Ronda L, Terrados N. Using testosterone and cortisol as biomarker for training individualization in elite basketball: a 4-year follow-up study. *J Strength Cond Res*. 2015;29(2):368-78.
87. Fischer CP. Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance? *Exerc Immunol Rev*. 2006;12:6-33.
88. Pedersen BK, Toft AD. Effects of exercise on lymphocytes and cytokines. *Br J Sports Med*. 2000;34(4):246-51.
89. Andersson H, Böhn SK, Raastad T, Paulsen G, Blomhoff R, Kadi F. Differences in the inflammatory plasma cytokine response following two elite female soccer games separated by a 72-h recovery. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(5):740-7.
90. Ingram J, Dawson B, Goodman C, Wallman K, Beilby J. Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med Sport*. 2009;12(3):417-21.
91. Singh TKR, Gueñi KJ, Landers G, Dawson B, Bishop D. A comparison of muscle damage, soreness and performance following a simulated contact and non-contact team sport activity circuit. *J Sci Med Sport*. 2011;14(5):441-6.
92. Kirwan JP, Costill DL, Houmar J, Mitchell JB, Flynn MG, Fink WJ. Changes in selected blood measures during repeated days of intense training and carbohydrate control. *Int J Sports Med*. 1990;11(5):362-6.
93. Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sport Sci*. 1993;12:55-12.
94. Andersson H, Karlén A, Blomhoff R, Raastad T, Kadi F. Active recovery training does not affect the antioxidant response to soccer games in elite female players. *Br J Nutr*. 2010;104(10):1492-9.
95. Silva JR, Rebelo A, Marques F, Pereira L, Seabra A, Ascensão A, et al. Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39(4):432-8.
96. Trigo P, Castejon F, Riber C, Muñoz A. Use of biochemical parameters to predict metabolic elimination in endurance rides. *Equine Vet J*. 2010;42(s38):142-6.
97. Meyer T, Meister S. Routine blood parameters in elite soccer players. *Int J Sports Med*. 2011;32(11):875-81.
98. Siqueira L de O, Muccini T, Dall Agnol I, Filla L, Tibbolla P, Luvison A, et al. Serum chemistry test and urinalysis parameter analysis in half marathon athletes. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2009;53(7):844-52.
99. Hartmann U, Mester J. Training and overtraining markers in selected sport events. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):209-15.
100. Mohr M, Mujika I, Santisteban J, Randers MB, Bischoff R, Solano R, et al. Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(3):125-32.
101. Martínez-Sanz JM, Urdampilleta A. Necesidades nutricionales y planificación dietética en deportes de fuerza. *Matricidad*. *Eur J Hum Mov*. 2012;29:95-114.
102. Handziski Z, Maleska V, Petrovska S, Nikolik S, Mickoska E, Dalip M, et al. The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/cortisol ratio in professional soccer players during a competition half-season. *Bratisl Lek Listy*. 2006;107(6-7):259-63.
103. Flynn MG, Pizza FX, Boone JB, Andres FF, Michaud TA, Rodríguez-Zayas JR. Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sport Med*. 1994;15(1):21-6.
104. Maso F, Lac G, Filaire E, Michaux O, Robert A. Salivary testosterone and cortisol in rugby players: correlation with psychological overtraining items. *Br J Sports Med*. 2004;38(3):260-3.
105. Schelling X, Calleja-González J, Terrados N. Hormonas y baloncesto. *Arch Med Deporte*. 2011; p. 374-82.
106. Södergard R, Bäckström T, Shanbhag V, Carstensen H. Calculation of free and bound fractions of testosterone and estradiol-17 β to human plasma proteins at body temperature. *J Steroid Biochem*. 1982;16(6):801-10.
107. Fernández-García B, Terrados N. La fatiga del deportista. Madrid. Gymnos; 2004. 59
108. Hoffman JR, Epstein S, Yarom Y, Zigel L, Einbinder M. Hormonal and Biochemical Changes in Elite Basketball Players During a 4-Week Training Camp. *J Strength Cond Res*. 1999;13(3):280-5.
109. Keizer H, Janssen GM, Menheere P, Kranenburg G. Changes in basal plasma testosterone, cortisol, and dehydroepiandrosterone sulfate in previously untrained males and females preparing for a marathon. *Int J Sport Med*. 1989;10:5139-45.
110. Duclos M, Corcuff JB, Rashedi M, Fougere V, Manier G. Does functional alteration of the gonadotropic axis occur in endurance trained athletes during and after exercise? *Eur J Appl Physiol*. 1996;73(5):427-33.
111. Hough JP, Papacosta E, Wraith E, Gleeson M. Plasma and salivary steroid hormone responses of men to high-intensity cycling and resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2011;25(1):23-31.
112. Tanskanen MM, Kyröläinen H, Uusitalo AL, Huovinen J, Nissilä J, Kinnunen H, et al. Serum Sex Hormone-Binding Globulin and Cortisol Concentrations are Associated With Overreaching During Strenuous Military Training. *J Strength Cond Res*. 2011;25(3):787-97.
113. Jidovtseff B, Crielaard JM. Overtraining in endurance athletes. *Rev Med Liege*. 2001;56(5):343-52.
114. Kraemer WJ, French DN, Paxton NJ, Häkkinen K, Volek JS, Sebastianelli WJ, et al. Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *J Strength Cond Res*. 2004;18(1):121-8.
115. Michailidis Y. Stress hormonal analysis in elite soccer players during a season. *J Sport Health Sci*. 2014;3(4):279-83.
116. Arruda AFS, Aoki MS, Freitas CG, Spigolon LMP, Francison C, Moreira A. Testosterone Concentration and Lower Limb Power Over an Entire Competitive Season in Elite Young Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2015;29(12):3380-5.
117. Koundourakis NE, Androulakis NE, Malliaraki N, Tsatsanis C, Venihaki M, Margioris AN. Discrepancy between exercise performance, body composition, and sex steroid response after a six-week detraining period in professional soccer players. *PLoS One*. 2014;9(2):e87803.
118. Neave N, Wolfson S. Testosterone, territoriality, and the "home advantage". *Physiol Behav*. 2003;78(2):269-75.
119. Oliveira T, Gouveia MJ, Oliveira RF. Testosterone responsiveness to winning and losing experiences in female soccer players. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(7):1056-64.
120. Koundourakis NE, Androulakis N, Spyridaki EC, Castanas E, Malliaraki N, Tsatsanis C, et al. Effect of different seasonal strength training protocols on circulating androgen levels and performance parameters in professional soccer players. *Hormones*. 2014;13(1):104-18.
121. Ekblom B. Assessment of fitness and player profiles. En: Dvorak J, Kirkendall D, editors. International football and Sports Med: caring for the soccer athlete worldwide. Proceedings of the International Football and Sports Med Conference. Beverly Hills (CA). Rosemont (IL); 2002. p. 22-4.
122. Peñalillo L, Maya L, Niño G, Torres H, Zbinden-Foncea H. Salivary hormones and IgA in relation to physical performance in football. *J Sport Sci*. 2015;33(20):2080-7.
123. Hill EE, Zack E, Battaglini C, Viru M, Viru A, Hackney AC. Exercise and circulating cortisol levels: the intensity threshold effect. *J Endocrinol Invest*. 2008;31(7):587-91.
124. Brownlee KK, Moore AW, Hackney AC. Relationship between circulating cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J Sports Sci Med*. 2005;4(1):76.
125. West DJ, Finn C V., Cunningham DJ, Shearer DA, Jones MR, Harrington BJ, et al. Neuromuscular function, hormonal, and mood responses to a professional rugby union match. *J Strength Cond Res*. 2014;28(1):194-200.
126. Moreira A, Arsati F, Arsati YB de OL, Da Silva DA, de Araújo VC. Salivary cortisol in top-level professional soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106(1):25-30.
127. Filaire E, Lac G, Pequignot J-M. Biological, hormonal, and psychological parameters in professional soccer players throughout a competitive season. *Percept Mot Skills*. 2003;97(3 Pt 2):1061-72.

128. Minetto MA, Lanfranco F, Tibaudi A, Baldi M, Termine A, Ghigo E. Changes in awakening cortisol response and midnight salivary cortisol are sensitive markers of strenuous training-induced fatigue. *J Endocrinol Invest*. 2008;31(1):16-24.
129. Petibois C, Cazorla G, Poortmans J-R, Déléris G. Biochemical aspects of overtraining in endurance sports. *Sports Med*. 2002;32(13):867-78.
130. Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med*. 1995;20(4):251-76.
131. Hoffman JR, Falk B, Radom-Isaac S, Weinstein Y, Magazanik A, Wang Y, et al. The effect of environmental temperature on testosterone and cortisol responses to high intensity, intermittent exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*. 1996;75(1):83-7.
132. Fallon KE. The clinical utility of screening of biochemical parameters in elite athletes: analysis of 100 cases. *Br J of Sports Med*. 2008;42(5):334-7.
133. Alaphilippe A, Mandigout S, Ratel S, Bonis J, Courteix D, Duclos M. Longitudinal follow-up of biochemical markers of fatigue throughout a sporting season in young elite rugby players. *J Strength Cond Res*. 2012;26(12):3376-84.
134. Banfi G, Dolci A. Free testosterone/cortisol ratio in soccer: usefulness of a categorization of values. *J Sports Med Phys Fitness*. 2006;46(4):611-6.
135. Twist C, Highton J. Monitoring fatigue and recovery in rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8(5):467-74.