

Article

Hierro y Atletas Mujeres: Revisión de los Métodos de Tratamiento Basados en la Dieta para Mejorar el Nivel de Hierro y el Rendimiento Físico

Ieva Alaunyte^{1,2}, Valentina Stojceska^{1,3,4} y Andrew Plunkett¹¹Department of Food and Tourism Management, Manchester Metropolitan University, Manchester M14 6HR, UK²Liverpool Hope University, School of Health Sciences, Liverpool L16 9JD, UK³Brunel University London, College of Engineering, Design and Physical Sciences, Uxbridge, Middlesex UB8 3PH, UK⁴Brunel University London, Institute of Energy Futures, RCUK Centre for Sustainable Energy Use in Food Chains (CSEF), Uxbridge, Middlesex UB8 3PH, UK

RESUMEN

En los seres humanos, el hierro es un componente funcional del transporte de oxígeno y de la producción de energía y por lo tanto es un micronutriente extremadamente importante para el deporte y el rendimiento físico. Los atletas, y especialmente las atletas que participan en deportes de resistencia, tienen un mayor riesgo de sufrir inconvenientes con el nivel de hierro debido a las grandes pérdidas de hierro provocadas por la menstruación y a los mecanismos inducidos por el ejercicio asociados con la actividad de resistencia. Convencionalmente se utiliza la suplementación oral con hierro para el tratamiento y/o la prevención de deficiencias de hierro. Sin embargo, esta metodología ha sido criticada debido a los efectos secundarios y al mayor riesgo de sufrir toxicidad férrica asociada al consumo de suplementos. Por lo tanto, recientemente se ha incrementado el interés sobre el uso de modificaciones dietéticas en lugar del consumo de suplementos para mejorar el estado de hierro de los atletas. Los métodos de tratamiento basados en la dieta incluyen la prescripción de una dieta rica en hierro, y/o una dieta basada en hierro de tipo hemo, asesoramiento alimentario y la inclusión de nuevos productos ricos en hierro en la dieta diaria. Aunque los estudios que utilizan modificaciones alimentarias todavía son escasos, en la literatura actual se sugiere que estas intervenciones con hierro pueden ayudar a mantener el estado férrico de las atletas mujeres, sobre todo durante el entrenamiento de alta intensidad y las competencias. Las futuras investigaciones deben enfocarse en el método (s) más eficaz de modificación alimentaria para mejorar el estado férrico y si estas metodologías pueden tener un impacto favorable en los deportes y en el rendimiento físico.

Palabras Clave: Hierro dietético, deficiencia de hierro, atletas mujeres, ferritina sérica

INTRODUCCION

La ingesta adecuada de nutrientes es esencial para lograr un rendimiento físico óptimo. Las atletas generalmente cumplen con los requerimientos de macronutrientes y micronutrientes con excepción del hierro [1, 2]. El hierro es un

micronutriente esencial para las vías de producción de energía y es un componente funcional de la hemoglobina y la mioglobina [3]. Se considera que las atletas tienen un riesgo mayor de padecer alteraciones en el nivel de hierro o que pueden provocar deficiencia del mismo (con o sin anemia) debido al equilibrio férrico negativo provocado por factores como la ingesta insuficiente de hierro en la dieta, la menstruación, mayores pérdidas de hierro asociadas con la hemólisis, el sudor, sangrando gastrointestinal y la inflamación aguda inducida por el ejercicio [4].

Los tratamientos para la deficiencia de hierro incluyen suplementos orales, intramusculares o inyecciones intravenosas y tratamientos alimentarios como la modificación de la dieta a través de asesoramiento nutricional y dietético, la incorporación de productos fortificados con hierro o de productos naturalmente ricos en hierro en la dieta diaria. Si bien los tratamientos convencionales de suplementos con hierro por vía oral o mediante inyecciones mejoran el nivel de hierro de los atletas [5], frecuentemente estos métodos provocan efectos secundarios que incluyen incomodidad abdominal, estreñimiento y náuseas [6] y pueden producir un riesgo de sobrecarga de hierro asociada con el consumo innecesario o no controlado [7]. Por lo tanto se sugiere la modificación alimentaria como estrategia preferida para asegurar una ingesta de hierro adecuada, el mantenimiento del nivel de hierro y como primera línea de acción en la prevención de deficiencia de hierro en atletas mujeres [8, 9].

Los productos fortificados con hierro han sido utilizados con éxito para aumentar los niveles de hemoglobina, ferritina sérica y para reducir el riesgo de sufrir deficiencias de hierro en la población adulta general [10]. Los programas alimentarios para mejorar el nivel de hierro en atletas mujeres han arrojado resultados mixtos [11-13]. Más recientemente, algunos estudios observaron efectos positivos para el nivel de hierro de la incorporación de productos naturalmente ricos en hierro a la dieta diaria de mujeres de edad fértil [14] y de corredoras recreacionales [1].

Esta revisión se centrará en los estudios que hayan investigado los efectos de tratamientos alimentarios de hierro en el estado férrico de las atletas. Se revisarán los factores que afectan el nivel de hierro de las mujeres deportistas y se discutirán las implicancias y desafíos prácticos de mejorar el estado férrico por medio de la dieta.

Hierro Alimentario

El hierro alimentario se presenta en dos formas: hemo (hemínico) y no hemo (no hemínico). El hierro hemo es el hierro proveniente de fuentes animales, mientras que el hierro no hemo es el que proviene de todas las otras fuentes alimentarias.

El hierro hemo se encuentra dentro de las moléculas de hemoglobina y mioglobina y es liberado por las enzimas proteolíticas en el lumen del estómago y del intestino delgado [15]. Debido a que la absorción del hierro hemo no requiere proteínas de unión, su captación puede alcanzar el 40% [16]. Sin embargo, es importante destacar que el hierro hemo sólo constituye aproximadamente el 10% del hierro total de la dieta [15].

El hierro no hemo está unido a otros componentes de los alimentos y normalmente está presente en la forma férrica. Para que pueda ser utilizado por el cuerpo debe ser reducido a hierro ferroso ya sea por las enzimas de la membrana de borde en cepillo o por agentes reductores, y debe ser transportado por el transportador de metales divalentes al enterocito [15]. La absorción de hierro no hemo depende de los niveles de inhibidores y de estimuladores, por lo tanto la disponibilidad de esta forma de hierro varía ampliamente de 2 a 20% [16]. En las dietas occidentales 50% del hierro alimentario proviene de los granos [15], así el hierro no hemo representa la mayor proporción en la ingesta de hierro de la población general.

Metabolismo y Biodisponibilidad del Hierro

El cuerpo humano no tiene un mecanismo directo de excreción de hierro, por lo tanto, la regulación del balance de hierro está influenciada por el estado férrico real del individuo y de la cantidad total de componentes férricos ingeridos a través de la dieta; y se mantiene por medio de la homeostasis interna [17]. Un individuo con elevadas reservas de hierro absorberá menos hierro que un individuo con pocas reservas y viceversa. Además, la absorción de hierro de la dieta depende no sólo de la cantidad total de hierro, sino que también el tipo de hierro (hierro hemo o no hemo) y de los niveles de sustancias que favorecen la absorción tales como la vitamina C, ciertos ácidos orgánicos, carne, mariscos, e inhibidores como los fitatos, compuestos fenólicos y calcio presentes en la dieta [18].

Los investigadores han demostrado una relación inversa entre la absorción de hierro y la concentración de ferritina sérica (sFer) de un nivel de hasta 60 µg/L [19, 20], lo que sugiere que la absorción disminuye hasta un nivel suficiente para cubrir las pérdidas diarias de hierro con el fin de prevenir el almacenamiento adicional de hierro. También se ha informado que la absorción de hierro hemo y no hemo alcanzó el 40% en sujetos con sFer de 10 µg/L, sin embargo, en concentraciones de sFer más altas se observó una disminución en la absorción de hierro, sobre todo del hierro no hemo [20]. Esto indica que, independientemente de la ingesta alimentaria total de hierro, la absorción de hierro depende fuertemente del estado férrico global. En un estado de reservas de hierro completas se reducirá la absorción del mismo, mientras que en un estado de agotamiento de hierro se producirá un aumento en la absorción de hierro. Además, esto sugiere que en un estado de

agotamiento de hierro, el hierro no hemo dietético se transforma en una fuente importante de hierro absorbible.

Deficiencia de Hierro

La deficiencia de hierro se produce en tres fases [21]. Primero, se agotan las reservas de hierro en las células reticuloendoteliales del hígado, bazo y médula ósea, algo que se observa como una disminución en la ferritina sérica y se denomina agotamiento de las reservas de hierro. La segunda fase está representada por la eritropoyesis, en donde disminuye el transporte de hierro y por consiguiente se reduce el aporte de hierro a las células. Esta fase se manifiesta como un bajo nivel de hierro sérico, una mayor capacidad total de unión y una disminución en la saturación de transferrina. Las primeras dos fases de deficiencia de hierro también se llaman “deficiencia latente de hierro” pre-anémica o “deficiencia de hierro sin anemia”. En la última fase de la deficiencia de hierro disminuye la síntesis de hemoglobina debido al insuficiente suministro de hierro, lo que produce anemia [21].

Generalmente se acepta que la ferritina sérica (sFer) es el indicador de las reservas de hierro en los sujetos [15]. Los niveles plasmáticos de ferritina sérica se correlacionan fuertemente con las reservas de hierro de la médula ósea [22], por lo que niveles bajos de ferritina sérica indican una deficiencia latente de hierro. El rango fisiológico de ferritina sérica en mujeres adultas es de 15 a 200 µg/L [23]. Debido a esta gran variación interindividual no se ha establecido correctamente el límite inferior de ferritina sérica para la indicación de deficiencia latente de hierro en las atletas. El límite inferior tiene un amplio rango de variación y va de 12 a 35µg/L en estudios que detallan el estado férrico de la población de mujeres físicamente activas (Tabla 1). Un valor de 12 µg/L generalmente se considera como un estado de deficiencia de hierro en mujeres, porque este estado se manifiesta por la ausencia de reservas de hierro en la médula y por reservas de hierro completamente agotadas [24].

Tabla 1. Comparación de los valores medios de ferritina en el suero y de los niveles de agotamiento de hierro en atletas de sexo femenino.

Referencia	Diseño del estudio	Participantes	sFer Media (ug/L)	Valor de corte (ug/L)	Prevalencia de reservas de hierro agotadas
Pate et al. [34]	Transversal	Corredoras de fondo (n = 111)	26±21	<20	50 %
Spodaryk et al. [35]	Transversal	Atletas de diferentes deportes (n = 40)	40±11	<20	20 %
Sinclair y Hinton [37]	Transversal	Mujeres físicamente activas (n = 72)	27±28	<16	29 %
Gropper et al. [30]	Transversal	Corredoras de campo traviesa (n = 9)	38±38	<12	22 %
Di Santolo et al. [38]	Transversal	Atletas de diferentes deportes (n = 70)	24±17	<12	27 %
Ostojic y Ahmetovic [39]	Transversal	Corredoras de fondo (n= 15)	27±12	<12	20 %
Woolf et al. [36]	Transversal	Mujeres muy activas (n= 28)	32±28	<12	21 %
Milic et al. [40]	Transversal	Atletas de diferentes deportes (n=359)	41±22	<22	18 %
Koehler et al. [33]	Transversal	Atletas de diferentes deportes (n=97)	35±22	<35	57 %
DellaValle y Haas [41]	Transversal	Remeras (n=165)	NR	<20	27 %
Auersperfer et al. [44]	Observación Longitudinal	Corredoras de fondo (n= 14)	NR	<20	50 %
Alaunyte et al. [1]	Intervención	Corredoras de fondo (n= 11)	30±21	<12	36 %

Requerimientos Alimentarios e Ingesta de Hierro en Atletas Mujeres

La ingesta de referencia de nutrientes (RNI) para mujeres adultas en el Reino Unido es de 14,8 mg de hierro por día [25] y

la ingesta alimentaria recomendada (RDA) en EE.UU. es de 18 mg de hierro por día [26]. A pesar de que en mujeres embarazadas y en periodo de lactancia se recomienda el consumo adicional de hierro, no se recomienda oficialmente el aumento de ingesta de hierro en atletas mujeres. Si bien se ha establecido que durante el ejercicio se incrementa la pérdida de varios minerales del cuerpo, entre los que se incluye el hierro, hay evidencia limitada sobre el efecto adverso en las reservas corporales [27]. Algunos autores sugieren que los requisitos de hierro para las atletas de resistencia, particularmente las corredoras de distancia, son aproximadamente 70% más elevados [28]. Si tuviéramos que seguir esta recomendación, deberíamos agregar una ingesta diaria de 10 mg de hierro al valor de 14,8 mg recomendado en el Reino Unido.

Algunos estudios sugieren que aunque las atletas generalmente cumplen con los requerimientos de energía y de micronutrientes no logran alcanzar la ingesta recomendada de hierro alimentario [1, 29], pero otros estudios informan ingestas adecuadas en esta población [30]. Por otra parte todavía se debate si la falta de hierro en la dieta provoca una disminución en el nivel de hierro en esta población. La ingesta deficiente de hierro (7-20 mg/día) y las reservas de hierro bajas (sFer 30µg/L) se observaron en una pequeña muestra (n = 9) de corredoras de maratón durante el entrenamiento pre-maratón de 11 semanas [29] y en corredoras de distancia recreacionales (n = 11, 11 mg de hierro dietario/día, sFer 30µg/L) [1]. Además, ambos estudios observaron que las ingestas de la mayoría de los otros nutrientes, entre los que se incluyeron la energía diaria, proteínas y vitamina C se encontraban cerca de los niveles recomendados excepto el hierro, lo que indica que una ingesta deficiente de hierro puede comprometer el estado férrico en esta población. Esto coincide con lo observado en otros estudios transversales que investigaron la influencia de las fuentes alimentarias de hierro en las corredoras [2, 31, 32]. En un estudio realizado por Nuviala et al. [32] se observó que la ingesta de hierro era inferior a 15 mg/día en el 68% de las corredoras (n = 25). Hassapidou y Manstrantoni [2] observaron ingestas de hierro similares de 11,4 y 13,8 mg/día en corredoras de medio fondo durante la temporada de entrenamiento y de competencias respectivamente, mientras que Snyder et al. [31] informaron que la ingesta alimentaria de hierro sería de alrededor de 14 mg/día con valores de ferritina sérica de entre 6 y 25µg/L, lo que indicaría el agotamiento de las reservas de hierro. Notablemente los autores observaron que las corredoras vegetarianas tenían valores de ferritina sérica significativamente menores (P<0,05) (7,4µg/L) que los de las corredoras que consumían carne (19,8µg/L) lo que se atribuyó principalmente a la menor biodisponibilidad de hierro en la dieta vegetariana (0,66 mg de hierro absorbible/día contra 0,91 mg/día, P<0,05) porque ambos grupos tenían una ingesta de hierro total similar [31]. Koehler et al. [33] observaron una tendencia similar. El estudio indicó que los niveles de ferritina sérica bajos se asociaban con una menor densidad de hierro alimentario (mg por 1000 kcal) pero no con la ingesta total de hierro.

Algunos investigadores revelaron que la ingesta alimentaria de hierro en las atletas era similar a la de la población general. En un estudio transversal importante realizado por Pate et al. [34] la ingesta alimentaria de hierro diaria de corredoras fue 11,0 mg/día mientras que en el grupo control fue 10,4 mg/d. Además, la ingesta alimentaria de hierro se asoció con un bajo nivel de ferritina sérica en ambos grupos. La evidencia de apoyo fue aportada por un estudio realizado con 40 corredoras y 40 mujeres inactivas de características similares [35] en el que se demostró que aunque la ingesta media de hierro era similar en ambos grupos (atletas 12,2 mg/d vs control 10,8 mg/d) había un agotamiento de hierro (sFer <20µg/L) en 20% de las corredoras y en 10% del grupo control y además los índices hematológicos fueron significativamente (P<0,05) menores en las atletas que en las mujeres sedentarias. De manera similar Woolf et al. [36] observaron una ingesta alimentaria de hierro total significativamente mayor en las mujeres muy activas en comparación con las mujeres inactivas pero menores índices de almacenamiento de hierro en las mujeres físicamente activas, lo que indicaría un posible efecto negativo del ejercicio en el nivel de hierro.

Asociación entre el Ejercicio y el Estado Férrico en Atletas Mujeres

La presencia de deficiencia de hierro en las mujeres físicamente activas y atletas de resistencia como resultado de los regímenes de entrenamiento de alta intensidad y de las competencias ha sido un tema de preocupación considerable durante las últimas décadas. Esto se debe al predominio notablemente alto de deficiencia latente de hierro que se observa en atletas mujeres y que, en algunos casos, llega a ser más del doble del nivel observado en sus colegas sedentarias. La Tabla 1 resume los resultados de estudios que detallan la prevalencia de deficiencia latente de hierro en las atletas.

La evidencia más convincente que destaca los efectos del ejercicio en el estado férrico y el riesgo de deficiencia de hierro fue aportada por Pate et al. [34]. Este estudio con 213 participantes (111 corredoras habituales y 65 mujeres inactivas) demostraron que el estado de agotamiento de hierro era significativamente (P <0,05) más prevalente en las corredoras habituales que en sus colegas inactivas. Además, las concentraciones séricas de ferritina presentaron una correlación negativa significativa con la actividad de carreras. La evidencia de apoyo fue aportada por los siguientes estudios [1, 30, 33, 36, 37]. Los investigadores informaron niveles de agotamiento de hierro similares, o incluso más altos, en las poblaciones de mujeres físicamente activas, corredoras recreacionales y mujeres atletas de élite. Los siguientes estudios obtuvieron resultados opuestos [38, 39]. Di Santolo et al. [38] no observaron ninguna diferencia significativa en la frecuencia de anemia, anemia por deficiencia de hierro o deficiencia latente de hierro entre las mujeres físicamente activas y las inactivas. Sin embargo el estudio informó índices del estado férrico dos a tres veces menores en las atletas no

profesionales en comparación con las mujeres inactivas del grupo control. Ostojic y Ahmetovic [39] observaron niveles similares de agotamiento de hierro en atletas mujeres de élite pero sólo encontraron una asociación débil entre la duración del entrenamiento y los niveles de ferritina sérica. Un estudio transversal importante realizado con 359 atletas mujeres y 514 atletas varones analizó los índices hematológicos según el sistema de energía predominante necesario para los diferentes deportes [40]. Los autores informaron que las atletas mujeres que participan en deportes que dependen de fuentes mixtas de suministro de energía (es decir anaeróbica y aeróbica), como remo, voleibol, hándbol y algunos deportes vinculados a natación y deportes de pista y campo, tenían un mayor riesgo de deficiencia de hierro en comparación con los deportes predominantemente aeróbicos (carreras de distancia, triatlón, tenis, esquí de fondo, ciclismo de ruta) o anaeróbicos (esprints, natación, esquí alpino). La explicación más creíble para esta observación fue que las respuestas adaptativas en el tejido muscular están sujetas a una mayor necesidad de oxígeno en las actividades aeróbicas. Esta noción también fue sustentada por otras investigaciones [41] en las cuales se investigó la asociación entre el estado férrico y el rendimiento físico en remeras al inicio de la temporada de entrenamiento. Como era esperable, se observaron diferencias en las medidas de rendimiento físico, entre las que se incluía el VO_{2max} , la concentración de lactato y pruebas contrarreloj entre las remeras que tenían un nivel de hierro normal y las que tenían deficiencia. Sin embargo esta tendencia sólo fue significativa ($P < 0,05$) en remeras que habían entrenado a baja intensidad y no en aquellas que habían realizado un régimen de entrenamiento de alta intensidad. Esto sugiere que los efectos negativos de la actividad física de alta intensidad son más profundos en los atletas menos entrenados y/o durante el período de adaptación de entrenamiento de alta intensidad y no en los individuos altamente entrenados.

Métodos de Tratamiento a través del Hierro Alimentario

Son pocos los estudios en los cuales se ha utilizado un tratamiento con hierro alimentario en lugar de suplementación con hierro farmacológica en atletas mujeres. Los métodos de tratamiento con hierro alimentario usados en la literatura incluyen la prescripción de una dieta rica en hierro [42, 43] o una dieta basada en hierro hemo [11, 13], asesoramiento alimentario [12] y la inclusión de nuevos productos ricos en hierro en la dieta diaria [1]. El resumen de los estudios de modificación de dieta se presenta en la Tabla 2.

En un estudio longitudinal no se observó ninguna diferencia en estado férrico ni en el rendimiento de nado entre una dieta rica en hierro y una dieta de libre elección en nadadores durante un período 6 meses [42]. Es importante señalar que el estudio reclutó a participantes con reservas de hierro completas ($Hb > 14$ g/dL, $sFer > 30\mu\text{g/L}$), por lo que el fracaso de la ingesta alimentaria elevada de hierro para cambiar el estado férrico podría ser atribuido a los mecanismos homeostáticos y podría explicar la ausencia de efecto. Otros estudios de intervención alimentaria demostraron efectos más positivos en el estado férrico en las atletas mujeres. Una dieta rica en hierro de cuatro semanas que aportaba 18,2 mg de hierro diariamente produjo concentraciones de ferritina sérica significativamente más altas en practicantes de gimnasia rítmica [43]. Sin embargo en el estudio no se evaluó su rendimiento durante la prueba y por lo tanto no se puede extraer ninguna conclusión acerca de cualquier posible efecto en el rendimiento físico. Un estudio realizado por Lyle et al. [11] informó que una dieta rica en proteínas de la carne, que aportaba 11,8 mg de hierro diario, fue más eficaz en la protección del estado férrico que los suplementos (50 mg de sulfato ferroso/día), durante una prueba de entrenamiento aeróbico de 12 semanas, en mujeres previamente sedentarias. Además, el grupo que realizó la intervención alimentaria presentó las mayores mejoras en el rendimiento físico, lo que destaca la posibilidad que el hierro alimentario pueda tener algún rol durante la adaptación al ejercicio.

Un estudio de intervención de asesoramiento alimentario realizado por Anschuetz et al. [12] no observó mejoras significativas en el estado férrico de corredoras de distancia después de una intervención de educación alimentaria de 4 semanas. No obstante, los autores sugirieron que la composición de la dieta, en particular la presencia de mejoradores de la absorción de hierro no hemo, tiene una influencia significativa en la absorción de hierro en esta población. Los resultados del estudio revelaron que el hierro alimentario absorbible se correlacionó significativamente con la ferritina sérica ($r=0,9$, $P < 0,05$) en las corredoras de medio fondo, lo que destaca la importancia de los niveles de hierro absorbible en la dieta [12]. La importancia de la biodisponibilidad de hierro en la intervención alimentaria también fue estudiada por otros investigadores quienes analizaron los efectos de la incorporación de carne magra a las dietas de corredores de distancia durante la temporada de competencias [13]. Los autores no observaron ninguna diferencia significativa entre el grupo que realizó la intervención y el grupo control en los parámetros asociados al hierro durante un período de 8 semanas. De hecho, se observó que algunos índices del estado férrico disminuyeron en ambos grupos, algo que podría deberse a los regímenes de entrenamiento de alta intensidad. No obstante, la evaluación por sexos reveló que las corredoras, como resultado de la intervención alimentaria, experimentaron un cambio casi significativo en los niveles del hematocrito ($p= 0,055$). El estudio de investigación más reciente sobre el estado férrico en las atletas utilizó una intervención alimentaria, que consistió en la incorporación de un nuevo pan de Teff rico en hierro en las dietas diarias de las corredoras [1]. Una intervención alimenaria de seis semanas que aportó 18,5 mg de hierro por día, no provocó una mejora significativa en el estado de hierro. Sin embargo, los autores informaron correlaciones significativas entre el aumento en la ingesta dietética de hierro y los cambios en la concentración de ferritina sérica.

Tabla 2. Comparación de los efectos de los métodos de tratamiento de hierro basados en la dieta sobre el nivel de hierro de las atletas. Abreviaturas: PA=Actividad física, IG=Grupo que realizó la intervención, C= Grupo control, FD= Registro de alimentos, FFQ Cuestionario sobre la frecuencia de consumo de comidas, Hb=hemoglobina, Fe= Hierro, sFe=Hierro sérico, sFer= Ferritina sérica, TIBC= capacidad total de unión al hierro, RBC= Eritrocitos; δ -ALAD= Enzima ácido δ -aminolevulínico deshidratasa, IMC= Índice de masa corporal.

Estudio	Sujetos	Protocolo	Resultados
Tsalis et al. [42] Estudio aleatorizado con suplementación y modificación dietaria	21 varones y 21 mujeres nadadores con las reservas de hierro completas (sFer >30 µg/L, Hb>12 g/dl) 12-17 años IMC 20	Diseño del estudio: Intervención de 6 meses A: Suplementación con Fe (47 mg/d) B: Dieta rica en Fe (26 mg/d) C: Placebo Valoración alimentaria: Registros de ingesta diaria de alimentos Valoración del rendimiento: Pruebas de Natación	No se observaron diferencias significativas en el nivel de hierro ni en el rendimiento físico entre los tres grupos
Ishizaki et al. [43] Intervención alimentaria	8 participantes de gimnasia rítmica de escuela secundaria de 18-19 años, IMC=19,7 y sFer<20µg/L	Diseño del estudio. Intervención de 4 semanas en cohortes durante 2 años. 1º año: Dieta seleccionada por los mismos sujetos 2do año: Dieta fija por 4 semanas (15mg de Fe/día. Valoración alimentaria: FD de 3 días, 3 veces en 1er/ 2do año al inicio y a las 4 y 8 semanas. Valoración de rendimiento: Ninguna	Aumento significativo en sFer y en la actividad de la δ-ALAD (enzima responsable de la producción de RBC) después de la intervención alimentaria. Ningún efecto en otros parámetros del estado férrico
Lyle et al. [11] Estudio aleatorizado con suplementación y modificación dietaria	60 mujeres que realizaban actividad física (2,3-2,5 días/sem), previamente sedentarias, sin reservas de hierro completas (sFer >20 µg/L, Hb> 12 g/dl) de 18-19 años	Diseño del estudio: Intervención de 12 semanas. A: Fe 50 mg+dieta baja en Fe B: Fe 10 mg+dieta baja en Fe C: Placebo D: dieta con carne (18 mg de Fe) Valoración alimentaria: FD de 7 días Valoración del rendimiento: Pruebas de caminata y cinta rodante	El ejercicio aeróbico moderado afectó el nivel de hierro. La dieta con carne permitió fue más efectiva para mantener el nivel de hemoglobina y de hierro que las dietas con suplementos
Anschuetz et al. [12] Intervención de asesoramiento alimentario	12 varones y 5 mujeres corredores de medio fondo de escuela secundaria y grupo control integrado por 6 varones y 2 mujeres que no eran corredores. Edad: 18-24 años y sFer <30 µg/L	Diseño del estudio: Asesoramiento dietético durante 4 semanas solo en el grupo LMIA LMIA: dieta con disponibilidad de hierro baja/media MHIA: Dieta con disponibilidad de hierro media/alta C: Control Valoración alimentaria: FD de 3 días Valoración de rendimiento: Ninguna	sFer significativamente mayor en el grupo MHIA que en el grupo LMIA. Correlaciones significativas entre el Fe alimentario absorbible y sFer, sFe, TIBC y Hb. Ninguna diferencia significativa en los índices del nivel de hierro entre los grupos LMIA y MHIA post-intervención
Burke et al. [13] Estudio de control dietario aleatorizado	14 varones y 14 mujeres de colegio secundario corredores de campo travesía, 18-24 años, sFer >60 µg/L	Diseño del estudio: Intervención de 8 semanas IG: 9 onzas. (255g) de carne magra /sem C: grupo control Valoración alimentaria: FD de 3 días Valoración de rendimiento: Pruebas en cinta rodante	Mejoras no significativas en el hematocrito y TIBC en el grupo de mujeres que realizó la intervención. Ninguna diferencia entre los grupos en otros parámetros del estado férrico. Ninguna diferencia en los cambios en VO _{2max} entre los grupos.
Alaunyte et al. [1] Intervención alimentaria	11 corredoras, reclutadas en los clubes de carreras, de 20-44 años, IMC=23, sFer >30 µg/L	Diseño del estudio: Intervención de 6 semanas (18,5 mg Fe/d) Valoración dietética: Múltiples recordatorios de 24-h Valoración de rendimiento: Ninguna	Aumento no significativo en el hierro Correlaciones significativas entre el aumento en el hierro dietético y el aumento en sFer (r=0,8, P<0,05).

Implicaciones Prácticas y Conclusión

En la actualidad contamos con evidencia contradictoria con respecto a si el mayor predominio de deficiencia de hierro en las atletas es un resultado de la actividad física de alta intensidad y/o de la ingesta inadecuada de hierro; y lo más importante es si la deficiencia moderada de hierro afecta el deporte y el rendimiento físico. Parecería que el agotamiento de las reservas de hierro puede ser el resultado de entrenamiento de alta intensidad, sobre todo durante la adaptación al período de ejercicio/entrenamiento o cuando el mismo es realizado por individuos no tan bien entrenados. Además, la ingesta alimentaria inadecuada de hierro y en particular el nivel de hierro absorbible y biodisponible presente en la dieta, pueden contribuir aun más con el agotamiento del hierro almacenado.

Las consideraciones prácticas para el mantenimiento o la mejora del hierro en las mujeres deben contemplar modificaciones alimentarias centradas en prácticas de alimentación saludable donde el principal objetivo sea aumentar el total de hierro alimentario, especialmente la ingesta de hierro hemo y mejorar la biodisponibilidad de hierro a través de la modificación en la composición de las comidas. Por ejemplo, los alimentos ricos en hierro pueden ser consumidos con frutas y vegetales lo que favorece la absorción de hierro debido a la presencia de elevados niveles de vitamina C. De manera similar se debería disminuir o evitar ingerir en la misma comida inhibidores de la absorción de hierro como los taninos presentes en el té o en el café, o el calcio en la leche.

Para concluir la mayoría de los estudios de investigación apoya la hipótesis del efecto beneficioso de las intervenciones alimentarias con hierro en el balance de hierro en las atletas que poseen bajas reservas de hierro. Sin embargo, no está claro cual es el impacto directo en el rendimiento físico entre las atletas. No obstante, habría evidencia que las intervenciones alimentarias con hierro pueden ayudar a mantener el estado férrico en las atletas, sobre todo durante el entrenamiento de alta intensidad y los regímenes de competencias

Disponibilidad de Datos de Apoyo

Todos los datos de esta investigación están disponibles en caso de ser solicitados.

Intereses de Competencia

Todos los autores declaran que no existe ningún interés financiero, profesional o personal que pudiera haber afectado la realización o presentación de este trabajo.

Contribución de los autores

IA y VS plantearon el concepto y el diseño de esta revisión. IA, VS y AP realizaron la búsqueda bibliográfica dirigida y extrajeron los datos. IA analizó los datos y escribió el manuscrito. Todos los autores enmendaron y aprobaron el manuscrito final.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Dirección del Departamento de Alimentación y Turismo de la Universidad Metropolitana de Manchester, Reino Unido por los fondos para la beca PhD (*Studentship registration Number RD/DO/09/32092*).

REFERENCIAS

1. Alaunyte I., Stojceska V., Plunkett A., Derbyshire E. (2014). Dietary iron intervention using a staple food product for improvement of iron status in female runners. *J. Int. Soc. Sports Nutr.*11:50.
2. Hassapidou M.N., Manstrantoni A. (2001). Dietary intakes of elite female athletes in Greece. *J. Hum. Nutr. Dietet.* 14:391-6.
3. Suedekum N.A., Dimeff R.J. (2005). Iron and the athlete. *Curr. Sports Med. Rep.* 4:199-202.
4. McClung J.P., Gaffney-Stomberg E., Lee J.J. (2014). Female athletes: a population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance. *J. Trace Elem. Med. Biol.*28:388-92.
5. Burden R.J., Morton K., Richards T., Whyte G.P., Pedlar C.R. (2014). Is iron treatment beneficial in, iron-deficient but non-anaemic (IDNA) endurance athletes? A meta-analysis. *Br. J. Sports Med.*0:1-10.
6. Zimmermann M.B., Hurrell R. (2007). Nutritional iron deficiency. *Lancet.*370:511-20.
7. Mettler S., Zimmermann M.B. (2010). Iron excess in recreational marathon runners. *Eur. J. Clin. Nutr.*64:490-4.
8. Burke L.M., Millet G.E., Tarnopolsky M.A. (2007). Nutrition for distance events. *J. Sports Sci.* 225:S29-38.
9. Hinton P.S. (2014). Iron and the endurance athlete. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*39:1012-8.
10. Gera T., Sachdev H.S., Boy E. (2012). Effect of iron-fortified foods on hematologic and biological outcomes: systematic review of

- randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.*96:309-24.
11. Lyle R.M., Weaver C.M., Sedlock D.A., Rajaram S., Martin B., Melby C.L. (1992). Iron status in exercising women - the effect of oral iron therapy vs increased consumption of muscle foods. *Am. J. Clin. Nutr.*56:1049-55.
 12. Anschuetz S., Rodgers C.D., Taylor A.W. (2010). Meal composition and iron status of experienced male and female distance runners. *J. Exerc. Sci. Fit.*8:25-33.
 13. Burke D.E., Johnson J.V., Vukovich M.D., Kattelmann K.K. (2012). Effects of lean beef supplementation on iron status, body composition and performance of collegiate distance runners. *Food Nutr. Sci.*3:810-21.
 14. Hoppe M., Brün B., Larsson M.P., Moraesus L., Hulthén L. (2013). Heme iron-based dietary intervention for improvement of iron status in young women. *Nutrition.*29:89-95.
 15. Beard J., Han O. (2009). Systemic iron status. *Biochim. Biophys. Acta.* 1790:284-588.
 16. Beard J., Tobin B. (2000). Iron status and exercise. *Am. J. of Clin. Nutr.*72:594s-7.
 17. Frazer D.M., Anderson G.J. (2005). Iron imports. I. *Intestinal iron absorption and its regulation.* *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.*289:G631-5.
 18. Björn-Rasmussen E., Hallberg L., Isaksson B., Arvidsson B. (1974). Food iron absorption in man. *Applications of the two-pool extrinsic tag method to measure heme and nonheme iron absorption from the whole diet.* *J. Clin. Invest.*53:247-55.
 19. Hulten L., Gramatkovski E., Glerup A., Hallberg L. (1995). Iron-absorption from the whole diet - relation to meal composition, iron requirements and iron stores. *Eur. J. Clin. Nutr.*49:794-808.
 20. Hallberg L., Hultén G.E. (1997). Iron absorption from the whole diet in men: how effective is the regulation of iron absorption? *Am. J. Clin. Nutr.*66:347-56.
 21. World Health Organisation. (2007). Assessing the iron status of populations. *Geneva, Switzerland: WHO Press.*
 22. Cook J.D., Flowers C.H., Skikne B.S. (2003). The quantitative assessment of body iron. *Blood.*101:3359-64.
 23. Scientific Advisory Committee on Nutrition. (2010). Iron and health. *London, UK: TSO.*
 24. Rodenberg R.E., Gustafson S. (2007). Iron as an ergogenic aid: ironclad evidence? *Curr. Sports Med. Rep.*6:258-64.
 25. Department of Health Dietary Reference Values for Food, Energy and Nutrients for the United Kingdom. Report of the panel on dietary reference values of the committee on medical aspects of food policy. London, UK: (1991). H. M.S.O.;
 26. Institute of Medicine Food and Nutrition Board. (2001). Dietary reference intakes for vitamin a, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. *Washington, DC: National Academy Press.*
 27. Clarkson P.M., Haymes E.M. (1995). Exercise and mineral status of athletes: calcium, magnesium, phosphorus, and iron. *Med. Sci. Sports Exerc.*27:831-43.
 28. Whiting S.J., Barabash W.A. (2006). Dietary reference intakes for the micronutrients: considerations for physical activity. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*31:80-5.
 29. Lampe J.W., Slavin J.L., Apple F.S. (1986). Poor iron status of women runners training for a marathon. *Int. J. Sports Med.*;7:111-4.
 30. Gropper S.S., Blessing D., Dunham K., Barksdale J.M. (2006). Iron status of female collegiate athletes involved in different sports. *Biol. Trace Elem. Res.*109:1-14.
 31. Snyder A.C., Dvorak L.L., Roepke J.B. (1989). Influence of dietary iron source on measures of iron status among female runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*21:7-10.
 32. Nuviala R.J., Castillo M.C., Lapieza M.G., Escanero J.F. (1996). Iron nutritional status in female karatekas, handball and basketball players, and runners. *Physiol. Behav.*59:449-53.
 33. Koehler K., Braun H., Achtzehn S., Hildebrand U., Predel H.G., Mester J., et al. (2012). Iron status in elite young athletes: gender-dependent influences of diet and exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*112:513-23.
 34. Pate R.R., Miller B.J., Davis J.M., Slentz C.A., Klingshirn L.A. (1993). Iron status of female runners. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*3:222-31.
 35. Spodaryk K., Czekaj J., Sowa W. (1996). Relationship among reduced level of stored iron and dietary iron in trained women. *Physiol Res.*45:393-7.
 36. Woolf K., St Thomas M.M., Hahn N., Vaughan L.A., Carlson A.G., Hinton P. (2009). Iron status in highly active and sedentary young women. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*19:519-35.
 37. Sinclair L.M., Hinton P.S. (2005). Prevalence of iron deficiency with and without anemia in recreationally active men and women. *J. Am. Diet. Assoc.*105:975-8.
 38. Di Santolo M., Stel G., Banfi G., Gonano F., Caucci S. (2008). Anemia and iron status in young fertile non-professional female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 102:703-9.
 39. Ostojic S.M., Ahmetovic Z. (2008). Weekly training volume and hematological status in female top-level athletes of different sports. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*48:398-403.
 40. Milic R., Martinovic J., Dopsaj M., Dopsaj V. (2011). Haematological and iron-related parameters in male and female athletes according to different metabolic energy demands. *Eur. J. Appl. Physiol.*111:449-58.
 41. Dellavalle D.M., Haas J.D. (2012). Iron status is associated with endurance performance and training in female rowers. *Med. Sci. Sports Exerc.*44:1552-9.
 42. Tsalis G., Nikolaidis M.G., Mougios V. (2004). Effects of iron intake through food or supplement on iron status and performance of healthy adolescent swimmers during a training season. *Int. J. Sports Med.*25:306-13.
 43. Ishizaki S., Koshimizu T., Yanagisawa K., Akiyama Y., Mekada Y., Shiozawa N., et al. (2006). Effects of a fixed dietary intake on changes in red blood cell delta-aminolevulinic acid dehydratase activity and hemolysis. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*16:597-610.
 44. Auersperger I., Škof B., Leskošek B., Knap B., Jerin A., Lainscak M. (2013). Exercise-induced changes in iron status and hepcidin response in female runners. *PLoS One.*8:58090.

Cita Original

Ieva Alaunyte, Valentina Stojceska y Andrew Plunkett. (2015). Iron and the female athlete: a review of dietary treatment methods for improving iron status and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*.12:38