

Influencia de los distintos tipos y parámetros del ejercicio físico sobre la calidad seminal: una revisión sistemática de la literatura

Influence of the different types and parameters of the physical exercise on seminal quality: a systematic review of the literature

Víctor Muñoz¹, Pedro Gargallo¹, Álvaro Juegas¹, Jorge Flández², Joaquín Calatayud³, Juan C. Colado^{1,3}

¹ Grupo de Investigación en Prevención y Salud en el Ejercicio y el Deporte (PHES). Universidad de Valencia. España.

² Instituto de Ciencias de la Educación. Carrera de Educación Física y Deporte. Universidad Austral de Chile. Chile.

³ Unidad de Investigación en Deporte y Salud. Universidad de Valencia. España.

CORRESPONDENCIA:

Juan Carlos Colado Sánchez

juan.colado@uv.es

Recepción: de mayo de 2017 • Aceptación: febrero de 2018

Resumen

Es de sobra conocida la importancia positiva de la actividad física correctamente prescrita en términos de intensidad y volumen sobre diferentes alteraciones metabólicas, osteomusculares, cognitivas, etc. La infertilidad es una patología cuya epidemiología está al alza por los cambios en los hábitos de nuestra vida cotidiana, como la dieta inadecuada o la radiación de las nuevas generaciones de aparatos eléctricos. No existen demasiadas evidencias divulgativas sobre sus causas y efectos, así como tampoco del papel del ejercicio en la reversión de sus síntomas. Con la finalidad de obtener y sintetizar la información más relevante sobre la influencia de los diferentes tipos y parámetros del ejercicio físico en los criterios de calidad seminal se decidió realizar una revisión bibliográfica sistemática en las bases de datos WOS, PubMed y Google Scholar hasta marzo de 2016. Los resultados arrojaron que mientras que el entrenamiento de alta intensidad y volumen prolongado produce un descenso de las concentraciones hormonales gonadales y los niveles antioxidantes y, por lo tanto, en la calidad del esperma, el ejercicio moderado revierte estos efectos aumentando los mismos y podría llegar a influir en una posible optimización de los procesos generadores del espermatozoide.

Palabras clave: Entrenamiento, infertilidad masculina, hormonas gonadales, estrés oxidativo seminal, calidad seminal.

Abstract

The positive importance of physical activity properly prescribed in terms of intensity and volume on a variety of metabolic, musculoskeletal, cognitive and other disorders is widely known. The increasing epidemiology of infertility is due to the changes in lifestyle habits, such as inappropriate diets or the radiations from new-generation electrical devices. There are not many informative evidences regarding either infertility causes and effects, or the exercise role in reversing its symptoms. In order to obtain and summarize the most relevant information about the influence of the different training types and parameters in the semen quality criteria, a descriptive literature review without temporal restriction of WOS, PubMed and Scholar data bases has been conducted. The study produced the following results; whilst a high intensity and prolonged volume training produce a drop in the gonadal hormone concentrations and the antioxidant levels and, therefore, in the sperm quality, moderate exercise reverts these effects and could potentially influence a possible optimization of the sperm generating processes.

Key words: Training, male infertility, gonadal hormones, seminal oxidative stress, sperm quality.

Introducción

La infertilidad conyugal se define como la incapacidad de la pareja para concebir después de un año de vida sexual activa y regular, sin el uso de anticonceptivos efectivos (Izzo, Monteleone & Serafini, 2015; Jungwirth, 2014). De manera concreta, la infertilidad en el varón no presenta síntomas evidentes en su manifestación, más bien viene marcada por los parámetros anormales seminales, los cuales, entre otras causas, pueden verse afectados por aumentos de la temperatura escrotal, alteraciones endocrinas y otros factores externos, como los hábitos de la vida diaria (Jungwirth, 2014). Diversos autores aportan datos concretos en lo que a la epidemiología de la infertilidad se refiere, por ejemplo Swan, Elkin & Fenster (2000) reportan cifras del periodo de 1938 a 1990 en las que se muestran: (1) una disminución significativa del número de espermatozoides, decayendo la densidad seminal de 113 millones de espermatozoides/ml en 1940 a 66 millones/ml en 1990; (2) una disminución del volumen seminal, el cual cayó de un 3-4 ml a 2.75 ml; (3) viéndose, en global, un descenso significativo del 20% del volumen y del 58% en la producción de espermatozoides durante esos 52 años. Abarcando un mayor periodo de años y realizando un análisis por separado de distintas zonas geográficas, los datos recogidos apoyan las conclusiones indicadas sobre las reducciones de la densidad seminal en Estados Unidos (aproximadamente 1.5% al año), en Europa y Australia (en torno a un 3% al año) y sin encontrar resultados significativos en países no occidentales (Carlsen et al., 1993; Swan, Elkin & Fenster, 2000). Makarow & Højgaard (2010) reseñan un empeoramiento de los parámetros de calidad espermática entre los hombres jóvenes del norte de Europa, advirtiendo que en torno al 20% de los varones poseían niveles de concentración de espermatozoides por debajo de los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud. Además, Brant, Myers, Carrell & Smith (2010) señalaron que durante la década del 2000 al 2010 la prevalencia de la infertilidad aumentó con aproximadamente 10 millones de parejas infértiles en Estados Unidos. Por lo tanto, se puede observar que la infertilidad masculina es una alteración muy extendida y que está principalmente presente en los países más desarrollados y occidentales.

Adicionalmente, debe resaltarse que se ha podido demostrar que aquellos hombres que presentan una disminución de la función reproductiva también parecen tener mayores tasas de mortalidad y menor esperanza de vida (Jensen, Jacobsen, Christensen, Nielsen & Bostofte, 2009), además de posibles afec-

ciones psicológicas manifestadas en una reducción de su autoestima, inadecuación sobre su función social y sentimientos de culpabilidad por “negar” un hijo a sus esposas (Wright et al., 1991). Algunos estudios presentan conclusiones que afirman estos sentimientos pueden ser reprimidos en pos de ayudar a la pareja, por lo que estas emociones de angustia podrían ser realmente más grandes de las que se dan a conocer (Webb & Daniluk, 1999). Además, esa ansiedad creada con respecto a su autoimagen ante él mismo y la sociedad pueden causar impotencia sexual, generando adicionalmente el estrés suficiente para que incluso se vean afectados los parámetros seminales, cayendo de ese modo en un bucle sin salida (Saleh et al., 2003). En consecuencia, parece ser que la incapacidad de concebir hijos lleva a la pareja a una situación de estrés que puede repercutir tanto en su vida social como personal, pudiendo aparecer en ellos sentimientos de angustia, percepción de pérdida de control sobre su propia vida, estigmatización e interrupción del desarrollo de metas en la etapa adulta (Cousineau & Domar, 2007).

A esta problemática, los avances en las tecnologías de reproducción asistida (ATR), como la *fertilización in vitro* (IVF) y la inyección de esperma intracitoplasmática (ICSI), pueden aumentar la esperanza de la concepción de estas parejas, aunque los términos de cobertura médica y los costos suelen ser la principal barrera. Estos costes suelen ser tan altos debido a que se deben abordar de manera simple o combinada distintos procedimientos o intervenciones en pro de la búsqueda de una solución, como por ejemplo son sofisticadas evaluaciones del paciente, aplicación de caros medicamentos para la maduración testicular, intervenciones quirúrgicas para recuperar óvulos, fertilización e incubación de los embriones, etc. (Karpman, Williams & Lipshultz, 2005; Yu, Mumford, Royster, Segars & Armstrong, 2014). Connolly, Hoorens S & Chambers (2010) proporcionaron una visión general de las estimaciones de los costos directos y generales de los ciclos de tratamiento de ATR en una serie de países seleccionados, encontrando las estimaciones más altas en los Estados Unidos (entre 9.961 y 10.812 € por ciclo) y los costos más bajos en algunos países europeos, como por ejemplo Bélgica y Reino Unido. Hace unos pocos años, la técnica IVF tenía un coste promedio de 66.667\$ para un exitoso primer ciclo de tratamiento, siendo en el mejor de los casos el precio más bajo de 50.000\$, habitualmente en mujeres jóvenes, y el más alto de hasta 160.000\$, en mujeres mayores de 40 años (Karpman, Williams & Lipshultz, 2005). Para el procedimiento ICSI, se determinó que el coste de esta operación oscilaba en torno a los 72.521\$ (Karp-

man, Williams & Lipshultz, 2005). Estos precios parecen aún más altos si se tiene en cuenta que en el mejor de los casos la eficacia de estas medidas está en torno al 40% y que la mayoría de trabajos sobre costes de las ATR identifican el coste directo del procedimiento sin considerar otros elementos relevantes como los costes estructurales o intermedios (Navarro, Martínez, Castilla & Hernández, 2006).

Teniendo en consideración todo lo comentado hasta aquí, debido a que la infertilidad afecta a gran cantidad de población, sumado al estrés y ansiedad que provoca y la inaccesibilidad para acceder al tratamiento por el alto coste que lleva implícito, mucha gente comienza a tomar medidas por su propia cuenta, buscando soluciones alternativas como la acupuntura, el yoga, diferentes tipos de té (Cousineau & Domar, 2007) o los beneficios que pueda dar la actividad física. Como se ha indicado previamente, tres de las variables que afectan a la función reproductiva masculina son temperatura escrotal, alteraciones endocrinas y otros factores externos, como los hábitos de la vida diaria. Sin embargo, antes de entrar a conocer estos factores y cuáles son los parámetros de calidad del semen, se debe analizar los procesos fisiológicos relacionados con la espermatogénesis.

Fisiología de la espermatogénesis

La fisiología de la espermatogénesis comprende dos procesos bien diferenciados, el proceso realizado por el eje hipotalámico-pituitario-testicular (HPT), con la regulación de las hormonas necesarias para la creación de los gametos, y la propia espermatogénesis, el desarrollo del espermatozoide desde sus primeras fases hasta la diferenciación de todas sus partes. Antes de comenzar a analizar los procesos conformados por el eje HPT, deben definirse nitidamente dos conceptos. En primer lugar, existen procesos en la fisiología en los que para la correcta función de ese sistema las concentraciones de sustancias necesarias para la misma no son adecuadas ni en mucha ni en baja concentración, es decir, debe tener unos niveles óptimos. Para la regulación de estas sustancias, en el HPT se activa un mecanismo denominado “feedback negativo” para el control de los niveles de las diversas sustancias que actúan en el mismo. Esta retroalimentación negativa trabaja de forma que al identificar el sistema la concentración de niveles más altos de lo necesario secreta hormonas inhibitorias de la acción de la anterior para mantener ese equilibrio óptimo para la correcta función sistémica. Una vez matizados estos puntos, procede comenzar por el análisis de la regulación hormonal para la gametogénesis masculina. El sistema comienza con la

secreción de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), secretada en pulsos por el hipotálamo, que estimula la glándula pituitaria para la secreción de las dos hormonas gonadotrópicas principales, la hormona luteinizante (LH) y la hormona estimulante del folículo (FSH).

La acción de la LH estimula las células de Leydig, situadas en los testículos, para la secreción de testosterona, principal andrógeno e importante regulador de este sistema. La FSH, por otro lado, estimula las células de Sertoli, también en los testículos, para favorecer el desarrollo de los espermatozoides, junto con la acción de la testosterona. Respecto a ese control de los niveles hormonales, el feedback negativo lo realiza la testosterona respecto a la LH, enviando señales a la hipófisis anterior para la inhibición de su síntesis, y sobre la FSH se encarga una sustancia proteínica secretada por las células de Sertoli, la inhibina. Este mecanismo de retroalimentación es muy importante ya que se ha asociado altos niveles de LH y FSH con peores parámetros seminales (Meeker, Godfrey-Bailey, & Hauser (2007). Otra importante función de la testosterona se encuentra relacionada con el desarrollo de los espermatozoides y para su acción se ayuda de otra de las sustancias secretadas por la FSH (producida por las células de Sertoli), la proteína ligadora de andrógenos (ABP). Este proceso hormonal, sumado a la secreción de testosterona, es el combustible para el motor de puesta en marcha de la espermatogénesis. Tal y como describe Acíen (1998), dicho proceso se compone de diferentes pasos complejos debido a las divisiones celulares mitóticas (división de la célula), meiosis (proceso de división celular especial, con reducción a la mitad del número de cromosomas) y espermiogénesis. Estos períodos son: 1. Multiplicación; 2. Crecimiento; 3. Maduración; y 4. Diferenciación.

Se sabe que la fase de multiplicación se halla en acción toda la vida. Pegados a las paredes interiores de los túbulos seminíferos, las espermatogonias, la unidad más simple de este proceso, se van multiplicando, quedando por capas más superficiales a ellas, los espermatoцитos, los espermátides y los espermatozoides, respectivamente, colocados por nivel de complejidad celular. Durante la fase de crecimiento, estas espermatogonias comienzan a aumentar de volumen y se inicia la fase mitótica con la creación de los espermatoцитos primarios. En la fase de maduración los espermatoцитos primarios sufrirán las dos divisiones meióticas. La primera de ellas dará lugar a los espermatoцитos secundarios, mientras que la segunda se avanzará al siguiente paso del proceso, las espermátides, viéndose por tanto que de cada espermatogonia se producen 4 espermátides. Finalmente, en la fase de diferencia-

ción, las espermátides comienzan un proceso de transformación, sin subdividirse, comenzando a apreciarse los caracteres especiales del espermatozoide, como la cabeza y el flagelo, y desprendiéndose de ese epitelio germinal que lo envolvía.

Debido a la cantidad de barreras que deberá superar el espermatozoide hasta la fertilización, además de criterios como la cantidad, también han de tenerse en cuenta otras cualidades de los espermatozoides para aumentar la eficacia del proceso. Estos criterios son los parámetros de calidad del semen. Los criterios básicos más nombrados por la literatura y valores límite de normalidad seminal son (Jungwirth, 2014): (1) Volumen espermático: valores de 1.5 mL (rango 1.4-1.7), es el volumen normal eyaculado tras 3-5 días de abstinencia. Unos valores por debajo de este rango se denominarían hipospermia. (2) Concentración espermática: medido en millones (10^6) por mililitro eyaculado, el rango se ha determinado en los 15 millones (rango 12-16). Si encontramos valores menores a este rango, se encontraría la afección clínica denominada oligozoospermia. (3) Motilidad: la motilidad se clasifica por porcentaje siendo 40% el valor de referencia y entre el 32 y 42% el rango que se consideraría normalidad. Con valores que se encuentren por debajo de estos, se estaría hablando de astenozoospermia. (4) Morfología: la morfología se mide según el porcentaje de formas normales de espermatozoides que contenga la muestra. Los normovalores de este parámetro se hallan en torno al 4% (3-4%). La teratozoospermia es la afección clínica provocada por un porcentaje de formas normales inferior al comentado. Otro valor adicional que se puede valorar es el de la vitalidad, sabiendo que la necrozoospermia se define por un porcentaje de espermatozoides vivos inferior al 58% y que puede relacionarse con infertilidad masculina (Dumont et al., 2017).

Estos parámetros seminales son la base, junto con otras pruebas como niveles de fragmentación del ADN espermático o la capacidad de penetración en moco cervical vaginal, para la evaluación de las posibilidades de éxito en la concepción o para el cálculo de probabilidades en la utilización de ATR. Sin embargo, como se ha visto en los párrafos dedicados a la epidemiología de la infertilidad, existen evidencias de un empobrecimiento preocupante de la calidad del semen, en gran parte influenciados por los hábitos de vida. Para dar mejor cuenta de este hecho se hará un breve repaso de los factores que afectan a la calidad del semen, tomando la hipótesis de que entre ellos se encontrará la actividad física y, quizá, algunos factores de su dosificación que también podrían afectar a la influencia de esta misma.

Factores responsables del empobrecimiento de la calidad del semen

Debido a los avances de la sociedad y la tecnología, en las últimas décadas se están produciendo cambios progresivos en la dieta, medio ambiente y hábitos de vida en general de las personas. A pesar del acceso a adelantos diversos que en la actualidad podrían influir positivamente en la salud y calidad de vida de los ciudadanos, también se están generalizando otros hábitos potencialmente perniciosos para la salud, como es el consumo de tabaco, alcohol y/o drogas. Dentro de las numerosas patologías que se ven agravadas por estos hábitos negativos se encuentra la infertilidad, a continuación se van a ver algunos de los más influyentes en su origen.

Chen et al. (2003) presentaron un estudio analizando las variables edad y estación del año en que se recoge la muestra, encontrando correlaciones negativas entre todos los criterios de calidad seminal y la edad. Respecto a la estación del año, encontraron diferencias significativas en la concentración espermática, mayor en invierno que en otoño, y en la morfología, con porcentajes de esperma con formas normales más altos en invierno que en primavera o verano.

Existe una alta relación entre el tipo y cantidad de la alimentación y la calidad seminal (Vaamonde, Fernández, Algar-Santacruz & García-Manso, 2016). Gaskins, Colaci, Mendiola, Swan & Chavarro (2012) compararon dos poblaciones a las que se les proporcionó dietas distintas, por un lado, la dieta occidental, con un alto consumo de carne roja y procesada, granos refinados, pizzas, bocadillos, bebidas de alta energía y dulces, y por otro, la dieta prudente, basado en un mayor consumo de pescado, pollo, frutas, verduras, legumbres y granos enteros, mostrándose resultados que asociaban la primera con la motilidad espermática. Afeiche et al. (2013) correlacionaron la presencia de productos lácteos en la dieta con una disminución de la morfología espermática normal y de su motilidad. Otro aspecto fundamental de la dieta es la aportación de antioxidantes, siendo la variable con la que Mínguez-Alarcón et al. (2012) compararon la función reproductiva, obteniendo que había una mejor motilidad en los sujetos que consumían antioxidantes naturales como criptoxina, vitamina C, licopeno y el β caroteno. Jurewicz et al. (2013) vieron que la ingesta diaria de cafeína provocaba una disminución de las formas normales del esperma.

Otro factor relacionado con este empobrecimiento seminal es la radiación de los nuevos aparatos eléctricos, como móviles y microondas, cuya radiación electromagnética reduce los niveles de calidad seminal en

los parámetros de concentración, motilidad y morfología seminal (Kumar, Kumari, Murarka & Kumar, 2009).

Con referencia específica a la actividad física o al ejercicio físico como hábitos de comportamiento, a continuación se hará un breve repaso de aquellos factores que relacionados con ellos podrían deteriorar la función reproductiva masculina.

Factores responsables del empobrecimiento seminal relacionados con la actividad y el ejercicio físico

Entre las posibles causas que podrían deteriorar la calidad seminal se hallan los hábitos o fenómenos relacionados con la realización o ausencia de la actividad física o el ejercicio físico (du Plessis, Kashou, Vaamonde & Agarwal, 2011; Vaamonde, da Silva-Grigoletto, Abbasi, & García-Manso, 2014). A su vez, una falta de actividad física o ejercicio físico puede aumentar el riesgo de sufrir alguna de las enfermedades típicas del síndrome metabólico, como es, por ejemplo, la obesidad (Ross & Després, 2009), la cual podría también generar una influencia negativa para la salud reproductiva (Best & Bhattacharya, 2015). Entre las teorías que se debaten para explicar la relación entre la obesidad y el empobrecimiento seminal se encuentran la disfunción sexual, la hipertermia testicular y, la más respaldada, las anomalías endocrinas relacionadas con el aumento de los estrógenos, la resistencia a la insulina y la reducción de andrógenos e inhibina B (Kay & Barratt, 2009). Jensen et al. (2004) concluyeron que hombres tanto con índices altos de grasa como demasiado pequeños, están asociados con una disminución de la calidad del semen. En ese sentido, en el plano hormonal, encontraron bajos niveles de testosterona, de inhibina y de globulina fijadora de hormonas sexuales (SHBG) en los sujetos categorizados como obesos y, en el seminal, tanto obesos como sujetos hipopesos, mostraron reducciones significativas de la concentración y el recuento total espermático de entre el 20 y 30% y el porcentaje de espermatozoides con formas normales se redujo. Tras la revisión bibliográfica realizada por Sermondade et al. (2013) se reforzó la asociación positiva entre el sobrepeso y la obesidad con valores característicos de azoospermia y oligozoospermia. En una línea similar de resultados, Eisenberg et al. (2014) encontraron una correlación negativa entre el volumen eyaculado y el conteo total de esperma con el índice de masa corporal y el perímetro de cintura del sujeto, demostrándose que conforme aumenta su talla corporal se reduce el volumen, concentración y conteo espermático.

Muy asociado al factor anterior, una actitud sedentaria también está asociada a peores parámetros se-

minales en comparación a sujetos físicamente activos. Jurewicz et al. (2013) compararon los parámetros seminales de sujetos expuestos a diferentes condiciones, una de ellas la comparación entre sujetos activos y sedentarios. Estos últimos reportaron peores valores en la concentración espermática que la población activa. Gaskins et al. (2013) realizaron un interesante estudio comparando sujetos y sus horas dedicadas a la actividad física y otro grupo de sujetos y sus horas dedicadas a ver la televisión. Los resultados mostraron que esta actitud sedentaria provoca una relación negativa entre las horas de televisión y el volumen y concentración espermática, mientras que los activos mostraban mejores valores en estos parámetros. Más estudios y resultados similares, al comparar poblaciones activas con sedentarios, se verán más adelante en este documento.

Otro factor que afecta a la fertilidad es el calor y, más en concreto, la temperatura escrotal. La temperatura escrotal afecta tanto a la formación de las células de la espermatogénesis como a la vida del espermatozoide ya formado. Kumar et al. (2009) recogieron en su revisión que mientras que esta temperatura suele estar por debajo de la corporal, aumentos moderados o elevados de esos valores pueden provocar reducciones en la calidad del semen. Kumar et al. (2009) indican que la temperatura de los testículos para producir esperma es 4 grados menor que la corporal y con cada grado que aumenta, la espermatogénesis reduce su eficacia en un 14%, produciéndose por tanto peores valores de concentración espermática, morfología y disminución de la motilidad. Además, en lo que a la temperatura escrotal se refiere, se han estudiado más aspectos como la utilización de calzones bóxer a la hora de realizar actividad física o su comportamiento en la sauna, donde ambas situaciones mostraron resultados de un empeoramiento de la morfología seminal y daños en el ADN del espermático (Jurewicz et al., 2013).

Para acabar con los factores que podrían estar asociados al ejercicio que pueden debilitar la calidad seminal, se hace necesario hablar del equilibrio oxidante/antioxidante. Las especies reactivas del oxígeno (ROS) son la expresión más común de los radicales libres en nuestro entorno y, ciñéndose al tema aquí tratado, suelen formarse por factores ambientales como la hiperoxia. La acción de ROS está definida por el fenómeno de respuesta a dosis denominado como hormesis, por el cual, y como si de una vacuna se tratara, con pequeñas dosis de ROS se estimula la secreción de grandes dosis de antioxidantes mientras que si su dosis es alta se podría reducir o inhibir la secreción de sustancias antioxidantes (Gómez-Cabrera, Doménech & Viña, 2008). Además, en concentraciones bajas,

ROS interviene en la función adaptativa del organismo al ejercicio y a la función reproductiva, controlando la maduración y capacitación espermática y mejorando la fusión espermia/óvulo, mientras que a altas concentraciones, debido a la reactividad que alberga su composición química produce daños en las diferentes células orgánicas como lípidos, proteínas o el ADN celular (Agarwal & Saleh, 2002; Safarinejad, Azma & Kolahi, 2009). La acumulación de estos radicales libres son los que decantarán la balanza que define el estrés oxidativo. El estrés oxidativo es el desequilibrio en el balance oxidante/antioxidante a favor de los compuestos prooxidativos (Gambini, 2007). Son diversas las evidencias que demuestran que el ejercicio puede aumentar este estrés oxidativo (Tartibian & Maleki, 2012). Existe la teoría generalmente aceptada de que esta producción de ROS está provocada por un aumento del consumo de oxígeno de las mitocondrias, el cual, durante este proceso, convierte un 2% de ese volumen en radicales libres. Gómez-Cabrera, Doménech & Viña (2008), sin embargo, apremian a una revisión de esta teoría ya que mientras que ese estudio se realizó con sujetos en reposo (fase 4 de la mitocondria), durante el ejercicio se produce una activación de la fase 3 (encargada de consecución de ATP mediante ADP), cayendo este porcentaje de oxígeno convertido en ROS hasta una décima parte de lo propuesto anteriormente. Los mismos autores ponen como protagonista de este proceso a la xantina oxidasa (XO), la cual se ha relacionado como fuente de ROS en ejercicio aeróbico, anaeróbico y el ejercicio de fuerza (Radak et al., 1995; Viña et al., 2000).

Como se ha podido observar, se encuentran diversos factores, además de otros tantos, que influyen en la calidad seminal que pueden estar muy influenciados por la actividad y el ejercicio físico (Lane, Da Costa Stein & Genro, 2016; Vaamonde et al., 2017), incluso pudiendo llegar a ser un factor agravante en el caso de que existiera algún problema previo de infertilidad (Vaamonde, Garcia-Manso & Hackney, 2017). Una vez vista esta relación entre el ejercicio y la función reproductiva, quedaría por averiguar el grado de beneficio o perjuicio de su práctica evaluando de manera muy concreta diferentes factores estructurales del entrenamiento (volumen, intensidad y tipo de actividad) en los factores más influyentes en el origen del espermatozoides, como así son el factor hormonal, por su proceso de regulación para la puesta en marcha de la espermatogénesis, y el perfil oxidante/antioxidante, por su alta presencia en varones infértiles (40 % de éstos) (Olayemi, 2010). En resumen, se debe destacar que dado que la regulación hormonal juega un papel clave en el proceso de creación de gametos, tanto masculino

como femenino, y que el ejercicio parece alterarla, ya sea para el aumento o disminución de los mismos, el objetivo del presente estudio de revisión sistemática de la literatura será analizar la influencia del ejercicio físico en los parámetros de calidad del semen y los factores que influyen en su origen, realizándose además una diferenciación para distintos tipos de población y tipos de entrenamientos.

Método

A continuación se expondrá la metodología llevada a cabo para la realización de la búsqueda bibliográfica y los pasos seguidos para su culminación.

Definición del objetivo de la revisión y búsqueda bibliográfica seguida

Para el abordaje del tema aquí tratado, se decidió realizar una revisión bibliográfica del tipo sistemática acerca de la influencia de los diferentes programas de entrenamiento sobre los parámetros de calidad del semen en hombres sin patologías específicas.

Bases de datos y fuentes documentales

Para realizar esta búsqueda, se utilizaron bases de datos como MEDLINE, ISI, PUBMED y Google Scholar, extrayéndose de ellas tanto documentos primarios, artículos originales, como secundarios, y revisiones sistemáticas. Para acotar la pesquisa, se decidió dividir los criterios para la búsqueda. En primer lugar, dada la escasa bibliografía reciente, se recuperaron los artículos del tema específico de este trabajo sin límite temporal mientras que para el marco teórico o cuestiones de la introducción a la parte principal, se tomaron como límite los estudios publicados desde el año 2000 hasta marzo de 2016. No se aplicó ninguna restricción de idioma.

Estrategias de búsqueda

Para la búsqueda de documentos en las diferentes bases de datos, se utilizó un algoritmo formulado con las palabras clave conectadas mediante operados booleanos. El algoritmo establecido fue el siguiente: (“Physical activity” OR “exercise” OR “training” OR “sport” OR “sports” OR “endurance exercise” OR “resistance exercise”) AND (“male infertility” OR “male reproduction” OR “seminal profile” OR “hormonal profile” OR “semen” OR “semen quality” OR “gonadal hormones” OR “reproductive function” OR “sperm concentration” OR “sperm morphology” OR “sperm motility” OR “sperm total account” OR “hypogonadal condition” OR “sper-

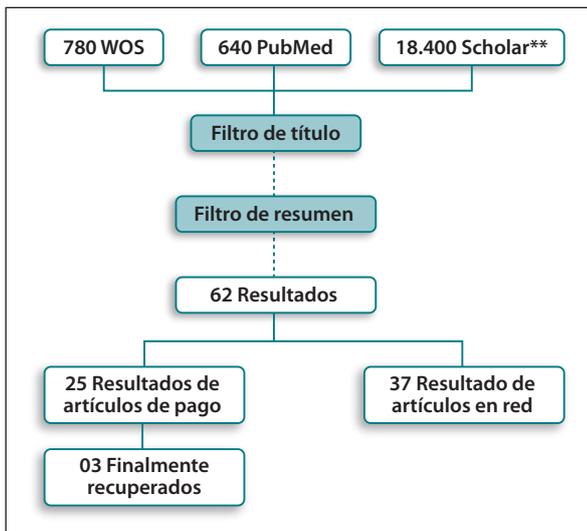


Figura 1. Diagrama de flujo de la revisión bibliográfica. **Datos que incluyen citas y otras formas de documento que no son de nuestro interés. De los artículos de pago sólo se tuvo acceso a tres por limitaciones presupuestarias y de contacto con algunos autores.

matogénesis” OR “sperm oxidative stress” OR “seminal antioxidants”). A partir de los documentos conseguidos, se trató de conseguir una mayor bibliografía del tema mediante dos vías: (1) Extrayendo los títulos que nos sean interesantes de su bibliografía; (2) A través de las recomendaciones realizadas automáticamente por el servidor de la base de datos.

Para realizar esta búsqueda bibliográfica, se siguieron los pasos relatados por Aranda (2006) para la confección de revisiones bibliográficas. En primer lugar, se comenzó por identificar las palabras clave para iniciar la búsqueda y poder identificar aquellas referencias que pudieran ser de interés a través de la búsqueda electrónica. Mientras se realizaba este paso, se analizaba la adecuación de los textos según las variables especificadas en nuestro algoritmo y nuestros criterios de selección, explicados a continuación, mediante una primera criba según el título y una segunda según su resumen. Tras esto, se leía el documento y se tomaban las notas oportunas, agrupándolas por las variables que trataba, y se analizaban las referencias recogidas en el mismo documento para realizar el filtro comentado y ver su valor para nuestro trabajo. Finalmente, se estructuraban e integraban estas notas para terminar por escribir la revisión.

Criterios de Selección

Durante el rastreo de artículos, se evaluó la idoneidad de su selección mediante la utilización de los siguientes criterios de inclusión: (1) El estudio reporta información sobre los factores que provocan el empobrecimiento de la calidad del semen; (2) El estudio reporta información sobre tipos de entrenamiento reali-

zados en varones fértiles/infértiles y su influencia en los parámetros de calidad del semen; (3) El estudio reporta información sobre los tipos de entrenamiento y la disfunción del eje hipotalámico-pituitario testicular o la condición de ejercicio hipogonadal; (4) El estudio reporta información sobre los tipos de entrenamiento y su relación con las hormonas productoras de la espermatogénesis; (5) El estudio reporta información sobre los tipos de entrenamiento y su influencia sobre el equilibrio oxidante/antioxidante seminal.

Respecto a los criterios de calidad de los mismos, todos los artículos seleccionados están indexados en bases de datos que utilizan revisiones ciegas por pares para su aceptación.

Resultados

Tras la búsqueda realizada siguiendo los pasos anteriormente comentados, se recuperaron un total de 37 artículos originales y 3 revisiones que cumplieron los criterios de inclusión expuestos en nuestra metodología. Al tratarse de un tema influido por varios mecanismos, la categorización de estos 40 artículos será: (1) 24 artículos que proporcionan información sobre la influencia de diferentes tipos de entrenamiento en los parámetros de calidad del semen; (2) 24 artículos que proporcionan información sobre la influencia de diferentes tipos de entrenamiento en las hormonas productoras de la espermatogénesis; (3) 5 artículos que proporcionan información sobre la influencia de diferentes tipos de entrenamiento en la disfunción del eje hipotalámico-pituitario-testicular; (4) 5 artículos que proporcionan información sobre la influencia de diferentes tipos de entrenamiento en el equilibrio oxidante/antioxidante seminal.

En las tablas de resultados se incluirán aquellos documentos que hayan estudiado el comportamiento de los parámetros de calidad del semen con los distintos tipos de entrenamiento. Además, para consolidar el conocimiento sobre el tema, se decidió incluir a la discusión artículos que solo hablaran sobre el ejercicio y el perfil hormonal gonadal o el equilibrio oxidante/antioxidante y otros ajenos a lo que el ejercicio se refiere, en este caso, uno que relaciona la función de las hormonas gonadotrópicas con los parámetros de calidad del semen, otro que relaciona las mismas con la disfunción HPT o condición hipogonadal y el último acerca de la influencia del medio oxidante en la calidad seminal. Para una mejor visualización de las aportaciones reveladas por los artículos recuperados, se decidió conformar un formato de tabla con diferentes pestañas entre las que, además de identificar el artículo de

Tabla 1. Comportamiento de los parámetros de calidad del semen con distintos tipos de ejercicio físico.

Autor	Muestra/Diseño del Estudio	Variables Perfil Hormonal	Equilibrio oxidante/antioxidante	Variables Perfil Seminal
Bagatell & Bremner (1990)	11 maratonianos 12 control (Diseño transversal)	Testosterona Testosterona libre SHBG LH inmuno LH bio FSH Cortisol		Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad.
Arce, De Souza, Pescatello & Luciano (1993)	10 corredores de resistencia ¹ 10 levantadores de pesas ² 8 control (Diseño transversal)	Testosterona Testosterona libre LH FSH Prolactina Estradiol LH excretada		Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad Penetración de espermatozoides in vitro
Roberts, McClure, Weiner, Brooks (1993)	5 corredores de resistencia (Diseño longitudinal)	Testosterona Cortisol		Volumen espermático
Lucía et al. (1996)	12 Ciclistas profesionales ¹ 9 triatletas élite, ² 10 corredores de maratón ³ 9 sedentarios control (Diseño transversal longitudinal y mixto)	Testosterona Testosterona libre FSH LH Cortisol		Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Gebreegziabher, Marcos, McKinnon & Rogers (2004)	10 ciclistas de larga distancia ¹ 10 sedentarios control ² (diseño transversal)			Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Vaamonde et al. (2009)	16 hombres físicamente activos ¹ 14 jugadores de Waterpolo ² 15 triatletas ³ (Diseño transversal)			Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Vaamonde, Da Silva, García-Manso, Cunha-Filho & Vaamonde-Lemos (2009)	15 triatletas Correr ¹ Nadar ² Ciclismo ³			Morfología
Wise, Cramer, Hornstein, Ashby & Missmer (2011)	2261 hombres tratados en clínicas de infertilidad (Diseño transversal)			Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Pelliccione et al. (2011)	7 montañeros a 5900 m. (Diseño longitudinal)	LH FSH Prolactina Testosterona		Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Tartibian & Maleki (2012)	56 luchadores de élite ¹ 52 hombres ² recreacionalmente activos (Diseño transversal)		Isoprostano seminal 8 ROS MDA SOD Catalasa TAC	Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Maleki, Tartibian, Eghbali & Asri-Rezaei (2012)	56 Atletas de élite ¹ 52 hombres recreacionalmente activos ² 53 hombres no activos ³ (Diseño transversal)		Isoprostano seminal 8 ROS MDA SOD Catalasa TAC	Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Vaamonde, Da Silva, García-Manso, Barrera & Vaamonde-Lemos (2012)	16 hombres físicamente activos ¹ 15 hombres sedentarios ² (Diseño transversal)	FSH LH Testosterona Cortisol Ratio T/C		Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Gaskins et al. (2013)	189 hombres 96 físicamente activos ¹ 93 sedentarios ² (Diseño transversal)			Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Maleki, Tartibian & Vaamonde (2014)	24 ciclistas no profesionales de larga distancia (Diseño longitudinal)		ROS MDA SOD Catalasa TAC	Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad

(=) Diferencias no significativa; (↓) Reducción; (↓↓) Reducción estadísticamente significativa; (↑) Aumenta; (↑↑) Aumento estadísticamente significativo.

123Números colocados en superíndice hacen referencia a las diferentes poblaciones o diferentes tipos de programa que categoriza cada estudio.

Análisis	Resultados Perfil Hormonal	Equilibrio oxidante/ antioxidante	Resultados Perfil Seminal
Análisis sanguíneos y seminales cada 2 semanas. Total de 6 muestras por individuo en 12 semanas	Testosterona (=) Testosterona libre (=) SHBG (=) LH inmuno (↑) LH bio (=) FSH (=) Cortisol (=)		Volumen espermático (=) Concentración (=) Morfología (=) Motilidad (=)
Entrenamiento Rutinario Análisis sanguíneo y seminal único.	Testosterona (↓↓) ^{1,2} Testosterona libre (↓↓) ^{1,2} LH (=) FSH (=) Prolactina (=) Estradiol (=) LH excretada (=)		Volumen espermático (=) Concentración (↓↓) ¹ Morfología (↓↓) ¹ Motilidad (↓↓) ¹ Penetración de espermatozoides in vitro ↓ ¹
Programa de 12 meses en condiciones de Sobreentrenamiento. Se dobló el volumen de entrenamiento y se mantuvo la intensidad. Análisis sanguíneo y seminal dos meses antes, inmediatamente después y 3 meses después del programa	Inmediatamente Testosterona (↓) Cortisol (↑) 3 meses después Testosterona (=) Cortisol (=)		Inmediatamente Volumen espermático (↓↓) (43%) 3 meses después Volumen espermático (↓↓) (52%)
Entrenamiento Rutinario Análisis sanguíneo y seminal en 10 meses, en pretemporada, Enero (1), competición, Junio (2) y periodo de descanso, Octubre (3). Se contabilizó el volumen de entrenamiento y se categorizó la intensidad según umbral ventilatorio	Comparación intragrupos (=) Comparación entregrupos (1) Testosterona (↑) ¹ FSH (↑) ² Comparación entregrupos (2) (=) Comparación entregrupos (3) FSH (↑↑) ^{2,3}		Comparación intragrupos (2) Motilidad (↓) ¹ Comparación entregrupos (2) Motilidad (↓) ¹ Comparación entregrupos (3) Motilidad 1>3
Entrenamiento Rutinario Sujetos que realicen 40 min/día, 3 días/semana Análisis seminal único			Volumen espermático (=) Concentración (=) Motilidad (=) Morfología (↓↓) ¹ (↓) ²
Entrenamiento Rutinario ¹ Sujetos 3 días/semana, 1 h/sesión ² 5 días/semana, 90 min/sesión ³ Entrenamiento carrera (49,4±7,4 km), bici (330,8±56 km) y natación (11,3±3,0 km) Análisis seminal único			Volumen espermático 1>2>3 Concentración 1=2>3 Morfología 2 y 3 Por debajo de los normovalores Motilidad 1>2=3
Entrenamiento Rutinario Medición del volumen de entrenamiento mediante cuestionario y correlación con las variables. Análisis seminal único			Morfología ¹ (=) ² (=) ³ (↓↓) Relación inversa
Ejercicio Moderado El volumen de entrenamiento se midió mediante cuestionario y la intensidad en MET's. Análisis seminal único			Volumen espermático (=) Concentración (=) Morfología (=) Motilidad (=) ** Ciclistas mostraron Recuento espermático y motilidad (↓↓)
Trekking en alta montaña Análisis sanguíneo y seminal pre ¹ a nivel del mar, intermedio ² , tras altitud, y post ³ , 10 días después de expedición.	LH (=) ^{1,2,3} FSH (=) ¹ (↑) ² (=) ³ Prolactina (=) ¹ (↑) ² (=) ³ Testosterona (=) ^{1,2} (↑) ³		Volumen espermático (=) Concentración (↓↓) Morfología (=) Motilidad (=)
Entrenamiento Rutinario ¹ 4-5 días/semana, 2 horas/sesión. (180/190ppm) ² 2-3 días/semana, 4-5 horas/semana. (127-132ppm) Análisis seminal único		Isoprostano seminal 8 1>2 ROS 1>2 MDA 1>2 SOD 2>1 Catalasa 2>1 TAC 2>1	Volumen espermático 2>1 Concentración 1>2 Morfología 2>1 Motilidad 2>1
Entrenamiento Rutinario ¹ 4-5 días/semana, 2 horas/sesión. (180/190ppm) ² 2-3 días/semana, 4-5 horas/semana. (127-132ppm) Análisis seminal único		Isoprostano seminal 8 1>3>2 ROS 1>3>2 MDA 1>3>2 SOD 2>3>1 Catalasa 2>3>1 TAC 2>3>1	Volumen espermático 2>3>1 Concentración 3>1>2 Morfología 2>3>1 Motilidad 2>3>1
Entrenamiento Rutinario ¹ 2-4 horas/semana, 3 días a la semana. VO2máx 40 ml min ⁻¹ kg ⁻¹ Análisis sanguíneo y seminal único	FSH 1>2 LH 1>2 Testosterona 1>2 Cortisol (=) Ratio T/C 1>2		Volumen espermático (=) Concentración (=) Morfología 1>2 Motilidad 1>2
Entrenamiento Rutinario El volumen del entrenamiento se midió en horas a la semana y la intensidad en MET's Análisis seminal único			Volumen espermático (↑↑) ¹ (↓↓) ² Concentración (↑↑) ¹ (↓↓) ² Morfología (=) ¹ (=) ² Motilidad (=) ¹ (=) ²
Entrenamiento ciclista intenso de 16 semanas Dos bloques de 8 semanas incrementando intensidad de UV1, entre UV1 y UV2, y UV2		ROS (↑↑) MDA (↑↑) SOD (↓↓) Catalasa (↓↓) TAC (↓↓)	Volumen espermático (↓↓) Concentración (↓↓) Morfología (↓↓) Motilidad (↓↓)

<> Utilización de símbolos mayor que o menor que en estudios comparativos de diferentes poblaciones. C: cortisol; FSH: hormona estimulante del folículo; LH: hormona luteinizante; MDA: malondialdehído; ROS: especies reactivas del oxígeno; SHBG: globulina fijadora de hormonas sexuales; SOD: superóxido dimutasa; T: testosterona; TAC: cantidad total de antioxidantes.

Tabla 2. Comportamiento de los parámetros de calidad del semen con el mismo tipo de ejercicio físico.

Autor	Muestra/Diseño del Estudio	Variables Perfil Hormonal	Equilibrio oxidante/ antioxidante	Variables Perfil Seminal
Hall et al. (1999)	8 corredores de resistencia ¹ 8 sedentarios control ² (Diseño longitudinal)	Testosterona Testosterona libre Cortisol Total Testosterona/cortisol LH FSH Prolactina	-	Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Di Luigi et al. (2002)	8 corredores entrenados de kilometraje moderado ¹ 8 hombres desentrenados ² (Diseño transversal)	FSH Testosterona Testosterona libre LH inmuno. LH bio.	-	Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Vaamonde, Da Silva, Poblador & Lancho (2006)	8 corredores resistencia ¹ 8 sedentarios control ² (Diseño longitudinal)	Testosterona Prolactina Cortisol LH FSH TSH Tiroxina Dehidroepiandrosterona Estradiol Progesterona	-	Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Safarinejad, Azma & Kolahi, (2009)	286 sujetos activos (Diseño longitudinal)	LH FSH Prolactina Testosterona Testosterona libre Inhibina B SHBG		Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad
Rosety-Rodríguez et al. (2014)	60 varones con diabetes tipo 2 (N=30 experimentales ¹ N=30 control ²) (Diseño longitudinal)			Volumen espermático Concentración Morfología Motilidad

(=) Diferencias no significativa; (↓) Reducción; (↓↓) Reducción estadísticamente significativa; (↑) Aumenta; (↑↑) Aumento estadísticamente significativo.

1,2,3 Números colocados en superíndice hacen referencia a las diferentes poblaciones o diferentes tipos de programa que categoriza cada estudio.

referencia, señalaban las variables medidas, tanto hormonales como seminales, la intervención realizada y los resultados de esta.

A este respecto, debemos señalar que finalmente se han presentado dos tablas de resultados, tomando como criterio el que el estudio analizado comparara varias poblaciones en términos de distintos tipos de ejercicio físico (Tabla 1), aportando sus resultados mediante análisis sanguíneos y seminales únicos, o por el contrario que se comparara varias poblaciones pero ante una misma propuesta de tipo específico de ejercicio físico (Tabla 2).

Discusión

En la conceptualización inicial ya fue señalada la posible influencia del ejercicio físico sobre la fertilidad, quedando así confirmado por la búsqueda realizada que el ejercicio físico tiene una marcada influencia en los niveles hormonales gonadales (Daly, Seegers,

Rubin, Dobridge & Hackney, 2005; Fry, Kraemer, & Ramsey, 1998; Raastad, Bjørø & Hallen, 2000; Fernández-García et al. 2002;), en el equilibrio oxidante/antioxidante (Gómez-Cabrera et al., 2008; Maleki, Tartibian, Eghbali, & Asri-Rezaei, 2012; Maleki, Tartibian, & Vaamonde, 2014; Tartibian, & Maleki, 2012) y, como consecuencia de ellos, en los parámetros de calidad del semen y la función reproductiva masculina (Vaamonde et al. 2009b). Sin embargo, antes de entrar a comentar los resultados obtenidos en cada uno de estos parámetros, se comenzará hablando de las pesquisas evidenciadas al respecto de la evolución de los estudios realizados en este campo.

En primer lugar, fijándose en las poblaciones de estos estudios, se puede ver una marcada evolución desde los documentos conformados el siglo pasado hasta nuestros días. En ella, se pueden ver dos etapas, la época de los 90 y entrada en el siglo XX, en la que los estudios estaban más focalizados al análisis de atletas de élite comparados con otros atletas de diferentes modalidades o con sujetos no activos, y desde

Programa de Ejercicio Físico	Resultados Perfil Hormonal	Equilibrio oxidante/antioxidante	Resultados Perfil Seminal
Programa de 8 semanas 2 sem. (Volumen normal de entrenamiento) = (N.T.) 2 sem. (+ 143% N.T.) = (I.T.1) 2sem. (+ 186 N.T.) = (I.T.2) 2sem. (50% N.T.) = (R.T.)	Comparación intragrupos Cortisol (\uparrow) ¹ (I.T.2 y R.T.) Comparación entregrupos (=)		Comparación intragrupos (=) Comparación entregrupos (=) **Dos corredores sufrieron oligozoospermia ¹
Prueba en tapiz rodante. 4 minutos de calentamiento a 6 km/h y se incrementa cada 2 minutos (1-3 km/h) hasta llegar al 90% VO ₂ Máx. Al llegar, se mantuvo esa velocidad 5 min.	FSH (=) ^{1,2} Testosterona (\downarrow) ¹ (=) ² Testosterona libre (\downarrow) ¹ (=) ² LH inmuno. (=) ^{1,2} LH bio (=) ^{1,2} <small>*Basal más baja en corredores entrenados</small>		Volumen espermático (=) ^{1,2} Concentración (=) ^{1,2} Morfología (=) ^{1,2} Motilidad (=) ^{1,2}
Ejercicio Máximo en cicloergómetro. 4 días a la semana durante dos semanas. Intensidades iniciales 25 y 50 W como calentamiento durante 3 min. cada una y comienza rutina incrementando 25 W cada 2 min. hasta agotamiento.	Testosterona (=) ¹ /(=) ² Prolactina (\downarrow) ¹ /(=) ² Cortisol (\downarrow) ¹ /(=) ² LH (\downarrow) ¹ /(=) ² FSH (\downarrow) ¹ /(=) ² TSH (=) ¹ /(=) ² Tiroxina (\uparrow) ¹ /(=) ² Dehidroepiandrosterona (\uparrow) ¹ /(=) ² Estradiol (=) ¹ /(=) ² Progesterona (=) ¹ /(=) ²		Recuento espermático (\downarrow) ¹ /(=) ² Densidad (\downarrow) ¹ /(=) ² Morfología (\downarrow) ¹ /(=) ² Motilidad (\downarrow) ¹ /(=) ²
A) Programa tapiz rodante de 60 semanas: Grupo de Intensidad Moderada (n=143; 60% VO ₂ Máx) ^{1,1} Grupo de Alta Intensidad (n=143; 80% VO ₂ Máx). ^{2,1} Ambos: 5 sesiones por semana de 120 min. B) Período de recuperación: 36 semanas de baja intensidad para grupo de moderada intensidad ^{1,2} y para grupo de alta intensidad ^{2,2}	LH (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2} FSH (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2} Prolactina (\uparrow) ^{2,1} /(\uparrow) ^{1,1} /(\downarrow) ^{1,2 y 2,2} Testosterona (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2} Testosterona libre (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2,1} Inhibina B (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2,1} SHBG (\uparrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,2 y 2,2}		Recuento espermático (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2} Concentración (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2} Morfología (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2} Motilidad (\downarrow) ^{2,1} /(\downarrow) ^{1,1} /(\uparrow) ^{1,2 y 2,2}
Programa tapiz rodante de 14 semanas Intensidad 55-70% FC Máx (+ 2,5% cada 2 semanas) Volumen 3 sesiones/semana de 40 min.			Volumen espermático (=) ^{1,2} Concentración(\uparrow) ¹ (=) ² Morfología (\uparrow) ¹ (=) ² Motilidad (\uparrow) ¹ (=) ²

< > Utilización de símbolos mayor que o menor que en estudios comparativos de diferentes poblaciones. C: cortisol; FSH: hormona estimulante del folículo; LH: hormona luteinizante; MDA: malondialdehído; N: número de sujetos; ROS: especies reactivas del oxígeno; SHBG: globulina fijadora de hormonas sexuales; SOD: superóxido dimutasa; T: testosterona; TAC: cantidad total de antioxidantes.

mediados de la década pasada hasta nuestros días en los que, a pesar de encontrar artículos con las características anteriores, comienzan ya a investigar con poblaciones de sujetos activos amateur. Este es un hecho importante por dos motivos, en primer lugar porque el descenso de la calidad del semen se está identificando en un gran porcentaje de la sociedad general, siendo colectivo comentado anteriormente y el de sujetos sedentarios los más afectados. Unido a esto, el segundo factor de importancia es que, una vez visto los factores que influyen en la función reproductiva masculina y la actividad física, para los profesionales del deporte, estos últimos constituyen un sector potencialmente más grande que los atletas de alto rendimiento siendo de suma importancia la ampliación de conocimientos para la adecuada prescripción de ejercicio.

Otro hecho a resaltar, es que durante el periodo recogido en la presente búsqueda bibliográfica, se publicaron y renovaron nuevas directrices para la medición seminal, entre ellas, nuevas cifras en la evaluación de

los parámetros de calidad del semen (Esteves, Miyaoka & Agarwal, 2011): (1) WHO (1992): Volumen espermático ≥ 2 mL, concentración $\geq 20 \times 10^6$ mL, motilidad ≥ 50 %; WHO (1999): Volumen espermático ≥ 2 mL, concentración $\geq 20 \times 10^6$ mL, motilidad ≥ 14 %; WHO (2010): Volumen espermático ≥ 1.5 mL, concentración $\geq 15 \times 10^6$ mL, motilidad ≥ 4 %. Como se puede ver, los valores de referencia han ido configurándose durante este periodo, por lo que sería posible pensar que la categorización de los resultados obtenidos en estudios de la década de los 90 no coincidirían a ojos de los valores especificados a partir de 2010. Sería por tanto necesaria una reinterpretación de los mismos para solventar cualquier confusión.

Una vez realizadas estas observaciones, se pasará a la discusión de los temas de interés de este trabajo, comenzando con la influencia de diferentes tipos de entrenamiento en el perfil hormonal gonadotrópico, pasando por el equilibrio oxidante/antioxidante para acabar viendo el comportamiento de los parámetros seminales ante estos factores.

Influencia del entrenamiento en el perfil hormonal gonadal

Dentro del perfil hormonal, como se ha comentado en el proceso de la espermatogénesis, se encuentra que las hormonas más influyentes en este mecanismo son la testosterona (T), la hormona luteinizante (LH) y la hormona estimulante del foliculo (FSH). Sin embargo, para ver la relación de estas hormonas con el estrés producido por el ejercicio, suelen ser medidas junto a hormonas glucocorticoides, como el cortisol (C); la prolactina (PRL) y la ratio testosterona-cortisol.

Comenzando por una de las hormonas más importantes de este proceso, la testosterona, cuya disminución puede asociarse con efectos antiandrogénicos y reproductivos en el hombre (Hackney, 1998), se debe indicar que ha habido gran controversia durante su estudio en relación con el ejercicio. A pesar de que se han podido encontrar artículos que no reportan cambios significativos en sus niveles, ya sea por el ejercicio de fuerza o resistencia (Bagatell & Bremner, 1990; Hall et al. 1999; Vaamonde et al., 2006), existe una amplia bibliografía que muestra la reducción de la testosterona, tanto en las poblaciones de atletas de élite como de sujetos activos amateur, en entrenamientos con cargas de elevado volumen y elevada intensidad o en condiciones de sobreentrenamiento (Arce, De Souza, Pescatello & Luciano, 1993; Roberts, Di Luigi et al., 2002; McClure, Weiner & Brooks, 1993; Safarinejad et al., 2009; Vaamonde et al., 2006).

La influencia de los parámetros del entrenamiento también se muestra en las hormonas gonadotrópicas, en este caso LH, sobre la que se debe comenzar diciendo que la valoración de la actividad de esta hormona es esencial en el análisis del eje HPT (Di Luigi et al., 2002; Vaamonde et al., 2006) y la FSH, la cual está muy ligada a la LH por su actuación sinérgica en el proceso de la gametogénesis y por su origen compartido. Por esto mismo, debido al bucle que supone este sistema, no es de extrañar que este trío sufra cambios similares a la respuesta del ejercicio.

En la literatura se pueden encontrar referencias en las que solamente se hacen alusiones a volúmenes de entrenamiento. En este sentido, De Souza, Arce, Pescatello, Scherzer & Luciano (1994) propusieron un umbral (>100 km/semana) a partir del cual comienza a producirse alteraciones en los niveles de los parámetros hormonales en corredores. Duclos (2001) apoya esta hipótesis y añade unas referencias en las que con volúmenes de entrenamiento semanal de 56-90 km no se encuentran reducciones en las concentraciones plasmáticas de T y con cargas de entrenamiento más altas como 125-200 km/sem se dan los

primeros síntomas de la denominada disfunción del eje HPT. Diferentes trabajos de han profundizado un poco más, proponiendo que ese descenso de T, LH y FSH se produce en entrenamientos de una intensidad de moderada a fuerte hasta el agotamiento, durante más de 2 horas de ejercicio (Duclos, 2001; Hackney, 1998) o en condiciones de sobreentrenamiento (Safarinejad et al., 2009; Vaamonde et al., 2006). A pesar de encontrar estos efectos hormonales, los mismos cambian radicalmente si se modifican estos parámetros del entrenamiento. Es por esto que se han encontrado evidencias de entrenamientos en torno a los 3 días por semana, de entre 60-90 minutos por sesión o categorizado también como entre 4-5 horas a la semana de actividad moderada, que consiguen aumentos significativos de los componentes del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (Grandys, Majerczak, Duda, Zapart-Bukowska, Kulpa & Zoladz, 2009; Vaamonde, Da Silva, García-Manso, Barrera & Vaamonde-Lemos 2012). Otro tipo de entrenamiento que también consiguió resultados parecidos fue la programación de ejercicio submáximo de corta duración (Hackney, 1998). Hackney (1998) y Duclos (2001), además, añaden una posible explicación a este hecho en lo que a la T se refiere. En un primer momento, debido al ejercicio submáximo comienza a producirse una hemoconcentración que puede ser la responsable del aumento de los niveles de T en torno a los primeros 30 minutos de actividad. Sin embargo, si el ejercicio continúa hasta umbrales propuestos anteriormente, se produce una reducción de la secreción de esta hormona influenciada por la disminución del flujo sanguíneo testicular. El ejercicio físico a tales intensidades produce una vasoconstricción generalizada quedando, además de en este mecanismo, en la vía de flujo hepática, principal lugar de aclaramiento de T, un hecho que puede hacer elevar aún más los niveles hasta en un 50% (Duclos, 2001). Sin embargo, este cambio es compensado por el aumento de la captación de estas hormonas por otros tejidos que actúan directamente en el ejercicio como el corazón o el músculo esquelético, los cuales, al continuar la actividad, producirán un progresivo descenso de estos niveles hormonales pudiendo llegar a prolongarse ese efecto, por un lado, hasta 48 horas post ejercicio, ya que la T plasmática se desviaría hacia el músculo esquelético en busca de la gluconeogénesis y la recarga de sus reservas tras el ejercicio y, por otro, a reducciones en los niveles de T basal inducido por adaptaciones del eje gonadal. Este último hecho ha sido recogido también en documentos que identifican esta disminución basal en atletas de resistencia crónica (Duclos, 2001; Fernandez-Garcia, et al. 2002; Fry et al., 1998), llegando a encontrar concentraciones

de testosterona en un 70-80% en comparación con los sujetos de control (Hackney, 1998).

Sobre la medida de la ratio testosterona/cortisol, se realiza fundamentalmente para identificar el tipo de microambiente creado en el organismo por la acción de la actividad física ya que se ha comprobado que ambientes anabólicos favorecen la producción de esperma (Vaamonde et al., 2012), siendo necesario para ello encontrar concentraciones de T más altas. Por esta misma razón, variables que pueden influir en este aspecto serían los programas para pérdidas de peso, las dietas, la fatiga, etc. (Brant, Myers, Carrell & Smith, 2010).

Respecto a la LH y FSH, los resultados ante el ejercicio de alta intensidad tienen mucha coherencia si se entiende la gran influencia que ejerce sobre estas hormonas el estrés y la actuación del sistema hipotálamo-pituitario-adrenal. La principal respuesta fisiológica a este estrés es la liberación de corticotropinas y, con ellas, glucocorticoides, como C, que producen efectos de inhibición de la función del eje HPT (Safarinejad et al., 2009), y otras hormonas como la PRL, que presenta una paradoja importante en la que mientras a ciertos niveles coopera con LH en la producción esteroidea, a grandes concentraciones produce efectos similares a los comentados anteriormente (Hackney, 1998). En altas intensidades y grandes volúmenes de ejercicio, se ha documentado este proceso que, finalmente, terminará por afectar a la secreción de T, la disfunción del eje HPT. En el mismo, se encuentra la hormona GnRH (hormona liberadora de gonadotropinas), la cual es encargada de la estimulación de FSH y LH. Debido a efectos de hormonas del estrés como C o PRL, se inhibe la actividad de GnRH y, con ello, la producción de las hormonas gonadotróficas provocando el descenso de los niveles de T (Hackney, 1998; Safarinejad et al., 2009). Este proceso puede darse como efectos del ejercicio agudo de estas características, sin embargo, en sujetos de resistencia entrenados se puede ver que este proceso cronificado da lugar a una menor liberación de LH por una actuación disminuida de GnRH producida por el aumento de la PRL en reposo, hiperprolactinemia, y, con ello, el efecto de unos niveles más bajos de T basal en sujetos entrenados (Hackney, 1998).

Este hecho es el que permite explicar los resultados pre intervención de Di Luigi et al. (2002). A este respecto, nuevos estudios recogidos por Duclos (2001) señalan que el papel de PRL en este proceso debe descartarse al mostrar resultados que sugieren que a partir de los 65 km semanales se produjeron discretas disminuciones de los niveles de PRL en reposo. Ante este hecho, el mismo autor propone que, además de

otros elementos fisiológicos más complejos, el papel protagonista de este proceso es C. Otro aspecto importante a destacar son los resultados obtenidos por Meeker et al. (2007) que descubrieron que niveles muy altos de las hormonas LH y FSH se correlacionan con peores resultados en el análisis espermático. Ante este enunciado, es necesario citar a la inhibina B, una proteína secretada por las células de Sertoli para el control de la FSH y que se considera como un marcador diagnóstico de la competitividad de estas células y la espermatogénesis. Se ha mencionado esta proteína por dos motivos, en primer lugar porque los mismos autores han propuesto la relación FSH-inhibina B para la medición de la calidad y capacidad de fecundación del semen y, en segundo, para explicar la relación entre LH y FSH con algunos parámetros seminales, ya que se vio una correlación inversa entre ellas con los niveles de inhibina B, la concentración y la morfología espermática. Este problema, entre otras causas, podría explicarse por los signos del hipogonadismo hipergonadotrópico, en el cual, haciendo referencia a la fisiología de la espermatogénesis, debido al mecanismo de regulación por feedback negativo puede producir que concentraciones tan altas de estas hormonas no permitan la secreción de testosterona e inhibina B debido a una disminución de los receptores de LH (Roberts et al., 1993).

Influencia del entrenamiento en el equilibrio oxidante/antioxidante

El estrés oxidativo representa aproximadamente el 30-80% de los casos de infertilidad idiopática (Maartens, Peng, Agarwal, Vaamonde & du Plessis (2016). Como en muchos otros aspectos del organismo, el daño oxidativo también se produce en los espermatozoides, siendo por tanto otro de los factores a tener en cuenta a lo que a la infertilidad masculina se refiere (Maleki et al., 2014). En los diversos estudios realizados sobre la influencia de la actividad oxidativa en la función reproductiva masculina se han utilizado biomarcadores comunes para medir este hecho. En cuanto a los marcadores de oxidación se han utilizado el isoprostano seminal 8, marcador de la peroxidación lipídica, la medición de especies reactivas del oxígeno (ROS) y el malondialdehído (MDA). Por otro lado, los marcadores antioxidantes son el superóxido dimutasa (SOD), catalasa y la cantidad total de antioxidante (TAC).

En relación específica con el ejercicio físico, es conocido que la exposición mantenida a actividades de alta intensidad puede generar niveles de estrés oxidativo que pueden interferir en la esteroidogénesis testicular

y la espermatogénesis, aspectos que pueden desembocar en trastornos en los sistemas reproductivos masculinos (Manna, Jana & Samanta, 2004). Respecto a los efectos del entrenamiento sobre los parámetros comentados anteriormente, la bibliografía arroja resultados esperados tras fijarse en su influencia en el plano hormonal. Tipos de entrenamiento de alta intensidad (180-190 ppm), con alto volumen (4-5 días) y con 2 horas por sesión producen incrementos significativos en los biomarcadores prooxidantes isoprostano seminal 8, ROS y MDA, quedando el balance oxidativo muy deteriorado al generarse también un descenso de las sustancias antioxidantes (Maleki et al., 2012; Maleki et al., 2014; Tartibian & Maleki, 2012). Estos resultados concuerdan con los sugeridos por Mastaloudis et al. (2001) que determinaron un aumento de los isoprostanos en corredores de ultramaratón a partir de los 50 Km de prueba, concluyendo así que el ejercicio de resistencia con gran volumen está asociado al estrés oxidativo. Cambiando de modalidad, Lekhi et al. (2007) reportaron un aumento de MDA sérico junto con niveles disminuidos de catalasa en ciclistas profesionales con entrenamientos a distancia media de 90 km. El principal peligro que presenta ROS en la función reproductiva según la literatura es su marcado influencia sobre el ADN seminal, alterando la integridad de la cromatina espermática al producir la rotura de las cadenas dobles del ADN (Safarinejad et al., 2009), pudiendo producir espermatozoides morfológicamente anormales (Agarwal & Saleh, 2002) y durando su efecto hasta 7 días tras el esfuerzo físico (Tsai et al., 2001).

De hecho, los resultados del estudio de Tartibian y Maleki (2012) muestran que se identifica una menor tasa de fragmentación del ADN en sujetos activos amateur que en atletas de élite, observando correlaciones positivas entre la fragmentación del ADN con el VO_2 máx, isoprostano seminal 8, ROS y niveles de MDA. En esta línea, Lovlin et al. (1987) asociaron la carrera exhaustiva sobre tapiz rodante con concentraciones altas de los niveles de MDA mientras que a intensidades más moderadas (40% VO_2 máx) no se producía este hecho e, incluso, disminuyó este marcador.

Esta última afirmación sigue las líneas de nuestros hallazgos en relación con el ejercicio moderado y la disminución de este proceso de estrés oxidativo. Diferentes autores han encontrado que utilizando programas de ejercicio de intensidad moderada (127-132 ppm) y con un volumen no muy alto de entrenamiento (2-3 días, 4 o 5 horas a la semana) se han evidenciado niveles más altos de antioxidantes como catalasa, SOD y la cantidad total de antioxidantes, mientras que las concentraciones de oxidantes como los isoprostano seminales 8, MDA y ROS disminuyen (Maleki et al.,

2012; Tartibian & Maleki, 2012). Además de estos datos, se encontró una correlación negativa entre esta fragmentación del ADN espermático producida por ROS con la concentración espermática, volumen, motilidad, morfología, SOD seminal, catalasa y TAC (Tartibian & Maleki, 2012). Gómez-Cabrera, Doménech & Viña (2008), describiendo este proceso de regulación del ROS, explicaron este hecho por la estimulación del ejercicio moderado de las kinasas de proteínas activadas por mitógeno (MAP kinasas), como el factor nuclear Kappa B (NF- κ B), que interviene en la expresión de enzimas importantes relacionadas con la defensa contra ROS, como SOD, y la adaptación al ejercicio, óxido nítrico sintasa inducible (iNOS) y óxido nítrico endotelial (eNOS), que mejoran los niveles de susceptibilidad celular a los efectos de las sustancias oxidantes. Gracias a este aumento de las defensas antioxidantes, por esa disminución de ROS hasta niveles óptimos, se puede concluir que el ejercicio moderado y las actividades de tipo recreativo mejoran el sistema antioxidante orgánico y reducen los efectos de los radicales libres y la susceptibilidad del esperma a los mismos.

Influencia del entrenamiento en los parámetros de calidad del semen

El entrenamiento influye de diferentes formas en los distintos sistemas de los que dependen los parámetros de calidad del semen, el perfil hormonal gonadal y el equilibrio oxidante/antioxidante. Por lo tanto, el perfil seminal también se verá influenciado por la variación de los factores estructurales del entrenamiento. Mientras que en entrenamientos a altas intensidades con gran volumen de entrenamiento o cargas elevadas asociadas a la condición de sobreentrenamiento los parámetros seminales suelen alterarse produciendo reducciones significativas de sus niveles (Maleki et al., 2014; Safarinejad et al., 2009; Vaamonde et al., 2006) y/o mayor porcentaje de daño en el ADN del esperma (Vaamonde, Da Silva-Grigoletto, Garcia-Manso, & Vaamonde-Lemos, 2012), con el ejercicio moderado estos efectos se modifican en sentido contrario gracias a la mejora de los sistemas implicados en el proceso de la espermatogénesis (Maleki et al. 2012; Rosety-Rodríguez et al., 2014; Tartibian & Maleki, 2012).

Centrándose en las poblaciones de estudio, se sustenta la evidencia de los beneficios del ejercicio moderado, puesto que suele encontrarse que aquellos hombres que son físicamente activos suelen poseer parámetros de calidad del semen más altos que las poblaciones con las que comúnmente se ha comparado, atletas de élite o sujetos sedentarios (Maleki et al., 2012; Tartibian & Maleki, 2012; Vaamonde et al., 2009b).

En lo que a los tipos de actividad se refiere, también pueden hallarse evidencias de la distinta influencia del ejercicio en los parámetros seminales según la modalidad deportiva. Arce et al. (1993) encontraron resultados interesantes en su investigación con sujetos entrenados en resistencia y levantadores de pesas en los que, tras la aplicación de un programa de alta intensidad en sus distintas disciplinas, a pesar de que los niveles de T sérica bajaron en ambos, solo los sujetos entrenados en resistencia reportaron perfiles seminales disminuidos. Pelliccione et al. (2011) evaluaron las modificaciones de los parámetros de calidad del semen en entrenamiento de alta intensidad en grandes altitudes, encontrando que bajo estas condiciones la concentración espermática se redujo significativamente por la disfunción de las células de Leydig y Sertoli ante la actuación irregular hormonal.

Otra de las modalidades que ha generado mucha controversia es el ciclismo. Diversos autores han estudiado la modificación de la calidad del esperma ante entrenamientos con bicicleta (Gebreegziabher et al., 2004; Lucía et al., 1996; Maleki et al., 2014). A pesar de que suelen verse afectados todos los parámetros, el más descrito en el ciclismo es la morfología, la cual se asocia negativamente con el volumen de entrenamiento semanal (Vaamonde et al., 2009b) aunque, a pesar de la importancia del volumen, en este caso un umbral de 330 km/semana como medida en el entrenamiento en bicicleta de triatletas profesionales, interviene también la influencia de otros aspectos como los microtraumas testiculares por la biomecánica de esta modalidad y el aumento de temperatura de la misma zona (Lucía et al., 1996). Este es un apartado muy a tener en cuenta, ya que la morfología es uno de los parámetros más importante a la hora de evaluar la fertilidad masculina al ofrecer una estimación para el diagnóstico de la concepción *in vitro* (Vaamonde et al., 2009). Adicionalmente, algunos trabajos recogidos por Southorn (2002) señalan casos de torsión testicular durante el mismo deporte y cómo esto puede influir en el desarrollo del Síndrome Alcock, el cual es una neuralgia del nervio pudendo, situado en la zona perineal, producido por la compresión de este nervio en el ángulo obturador.

Además, en el presente trabajo se ha hablado de las diferentes modalidades de ejercicio físico, pero además se ha estudiado la influencia del sedentarismo en este tema. Gaskins et al. (2013) compararon poblaciones de sujetos físicamente activos con sujetos sedentarios evaluando, además, las horas que estos últimos pasaban frente al televisor. Los resultados fueron niveles más altos en los parámetros de concentración y recuento espermático en los sujetos activos. Es por

esto, que además de un balance energético negativo, el balance energético positivo en gran exceso puede deteriorar las funciones reproductivas masculinas.

Un hecho importante a comentar es que, a pesar de encontrar reducciones significativas de los parámetros de calidad del semen, en muy pocas ocasiones bajan de los valores normales y se encuentra alteraciones con relevancia clínica. Hall et al. (1999) en un estudio comparativo de intensidad incremental entre atletas de resistencia y sujetos sedentarios, encontraron resultados de oligospermia en 2 de sus sujetos de intervención. Vaamonde et al. (2009b) en su estudio comparativo entre diferentes poblaciones de atletas encontraron que sujetos triatletas poseían deficiencias morfológicas con menos de un 5% espermatozoides con formas normales.

Una vez que efectivamente se ha visto que los diferentes tipos de entrenamiento tienen influencia en los parámetros hormonales y antioxidantes y, con ello, en la salud espermática, se debe tener en cuenta que el nivel basal de condición física, la intensidad, el volumen y el tipo de disciplina de entrenamiento son variables muy a tener en cuenta en la comparación de la función reproductiva en lo que a aspectos relacionados con el ámbito del ejercicio físico se refiere (Tartibian y Maleki, 2012).

Conclusiones

Preliminarmente, y antes de entrar a comentar las conclusiones relacionadas con el ejercicio físico y esta patología, se debería resaltar la necesidad de revisar las pautas comunes a la hora de la realización de estudios sobre la infertilidad masculina (Makarow & Højgaard, 2010) empezando por definir los criterios de evaluación de la calidad del semen, puesto que son criterios clave para la categorización de resultados. De manera específica, al respecto de las conclusiones más relevantes obtenidas en el tema aquí estudiado, se puede decir que existe un adecuado respaldo de la literatura ante cada una de ellas de manera evidente y, además, que el comportamiento de la actividad y el ejercicio físico ante cada uno de los aspectos analizados es bastante similar. No obstante, a continuación se desarrollará con más detalle las conclusiones principales vinculadas a los objetivos del presente estudio.

Al respecto de la primera de las incógnitas que nos planteábamos, se puede decir que la actividad y el ejercicio físico influyen en la función reproductiva y en los sistemas de los que depende. Sin embargo, el grado de beneficio o perjuicio de la misma vendrá determinada por los factores estructurales del entrenamiento apli-

cado. De estos parámetros, los más estudiados por la literatura han sido el volumen, la intensidad y el tipo de actividad a realizar.

El volumen y la intensidad del ejercicio físico pueden influir en los parámetros hormonales, parámetros esenciales para el desarrollo seminal y su vida en el espacio testicular. Tanto las hormonas gonadotrópicas, LH y FSH, como los andrógenos T e inhibina B, presentan aumentos de sus concentraciones y una correcta regulación de sus funciones gracias al ejercicio moderado mientras que las mismas descienden hasta niveles perjudiciales para la salud espermática y la óptima regulación del eje HPT ante entrenamiento con intensidades elevadas y con volúmenes prolongados, pudiendo llegar a causar una disfunción en este mecanismo que produzca estos resultados a nivel basal.

Las diferentes dosificaciones del volumen e intensidad del ejercicio físico pueden influir en el equilibrio oxidante/antioxidante de forma parecida a lo ocurrido con las hormonas. Mientras que a intensidades y volúmenes más moderados este balance se inclina más hacia la generación natural de antioxidantes, como SOD, catalasa y el aumento de TAC, e incluso la colaboración de ROS en tareas de adaptación al ejercicio y desarrollo seminal, a altas intensidades y gran volumen de entrenamiento el balance se torna hacia el lado de la generación de sustancias prooxidantes como ROS, isoprostano seminal 8 y MDA, por el mayor consumo de oxígeno, superando las defensas antioxidantes y produciendo daños en lípidos, proteínas, y concretamente más en nuestro tema, en la integridad del ADN seminal. Junto a estas evidencias, otras más actuales han dilucidado que el alto volumen de entrenamiento podría interferir potencialmente con la capacidad fértil del ejercitante debido a su influencia en la fragmentación del ADN espermático (Vaamonde et al., 2017).

Además de la influencia de la intensidad y el volumen del ejercicio físico sobre la calidad seminal (volumen, concentración, motilidad, morfología y vitalidad), un parámetro sobre el que no se había indagado lo suficiente ha sido el tipo de actividad. Disciplinas como las actividades a gran altitud, debido al efecto hipóxico y el aumento de intensidad del mismo, o el ciclismo, que ha sido tratado de un modo especial ya que su acción ante la salud reproductiva es más catalogada por sus efectos mecánicos, es decir, por el aumento de la temperatura y los microtraumatismos testiculares.

De manera sintetizada, y en referencia a los aspectos generales de cara a dosificar ejercicio físico, debe rese-

ñarse que la salud reproductiva estará muy influenciada por los parámetros del entrenamiento prescritos, por lo que tener en cuenta de manera global la intensidad de trabajo, el volumen y/o la actividad será muy importante a la hora de favorecerla. Si se tuviera que hacer alguna recomendación al respecto del volumen y la intensidad, esta sería la siguiente: entre 4 y 5 horas de actividad moderada a la semana pudiendo estar distribuidas en 2 o 3 sesiones.

Tras la lectura de los artículos recuperados por la revisión, se ha podido apreciar que en lo que se refiere a la actividad y el ejercicio físico y a los procesos ocurridos durante la realización de los mismos en relación a los parámetros seminales, aún queda mucho por descubrir. Por ello, nos vemos en la obligación de aportar ciertas sugerencias para posibles investigaciones futuras. En primer lugar, nuestra revisión, además de la calidad del semen, ha analizado los parámetros hormonales y el equilibrio oxidante/antioxidante durante el ejercicio. Sin embargo, desde nuestro conocimiento, no hay suficiente investigación que haya relacionado estas variables en un mismo estudio. La propuesta de un programa de ejercicio, con distintas intensidades y volúmenes, en el cual se midiera pre y post intervención los factores hormonales mediante estudios sanguíneos y los parámetros de calidad del semen y las variables del estrés oxidativo, sería mucho más representativo de este proceso, pudiendo también interconectar los factores hormonales y antioxidantes. Por otro lado, según los resultados obtenidos, el ejercicio moderado consigue grandes beneficios en cada una de las facetas estudiadas, tanto en programas de resistencia como de fuerza. Pero, ¿qué modalidad de entrenamiento conseguiría mejores resultados, serían los orientados a la resistencia o a la fuerza? Para ello, también sería interesante analizar tres programas de trabajo, de volúmenes e intensidades análogas, en los que el primero presentara una orientación más hacia la resistencia, otro hacia el trabajo de la fuerza y el tercero combinara ambas de manera concurrente. A su vez, habría que plantearse también cómo los hábitos nutricionales y las ayudas ergogénicas podrían llegar a influir en la fertilidad tanto en el alto rendimiento como en los "practicantes recreativos" (García-Manso & Valverde, 2016; Vaamonde, Da Silva-Grigoletto, Fernandez, Algar-Santacruz & García-Manso, 2014; Vaamonde, Fernández, Algar-Santacruz & García-Manso, 2016).

BIBLIOGRAFÍA

- Ación, P. (1998). *Tratado de obstetricia y ginecología: Obstetricia*. Alicante: Molloy.
- Afeiche, M., Williams, P. L., Mendiola, J., Gaskins, A. J., Jørgensen, N., Swan, S. H., & Chavarro, J. E. (2013). Dairy food intake in relation to semen quality and reproductive hormone levels among physically active young men. *Human Reproduction*, 28(8), 2265-2275. doi:10.1093/humrep/det133
- Agarwal, A., & Saleh, R. A. (2002). Role of oxidants in male infertility: rationale, significance, and treatment. *Urologic Clinics of North America*, 29(4), 817-827. doi: 10.1016/S0094-0143(02)00081-2
- Aranda, F. (2006). *Presentación por escrito de la revisión bibliográfica*. Secretaría de Ciencia y Técnica Universidad Adventista de la Plata.
- Arce, J. C., De Souza, M. J., Pescatello, L. S., & Luciano, A. A. (1993). Sub-clinical alterations in hormone and semen profile in athletes. *Fertility and Sterility*, 59(2), 398-404. PMID: 8425638
- Bagatell, C. J., & Bremner, W. J. (1990). Sperm counts and reproductive hormones in male marathoners and lean controls. *Fertility and Sterility*, 53(4), 688-692. doi: 10.1016/S0015-0282(16)53465-7
- Bennell, K. L., Brukner, P. D., & Malcolm, S. A. (1996). Effect of altered reproductive function and lowered testosterone levels on bone density in male endurance athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 30(3), 205-208. doi: 10.1136/bjbm.30.3.205
- Best, D., & Bhattacharya, S. (2015). Obesity and fertility. *Hormone molecular biology and clinical investigation*, 24(1), 5-10. doi: 10.1515/hmbci-2015-0023
- Brant, W. O., Myers, J. B., Carrell, D. T., & Smith, J. F. (2010). Male athletic activities and their effects on semen and hormonal parameters. *The Physician and Sportsmedicine*, 38(3), 114-120. doi: 10.3810/psm.2010.10.1816
- Chen, Z., Toth, T., Godfrey-Bailey, L., Mercedat, N., Schiff, I., & Hauser, R. (2003). Seasonal variation and age-related changes in human semen parameters. *Journal of Andrology*, 24(2), 226-231. PMID: 12634309
- Connolly, M. P., Hoorens, S., Chambers, G. M. (2010). The costs and consequences of assisted reproductive technology: an economic perspective. *Human reproduction update*, 16(6), 603-613. doi: 10.1093/humupd/dmq013
- Cousineau, T. M., & Domar, A. D. (2007). Psychological impact of infertility. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 21(2), 293-308. doi: 10.1016/j.bpobgyn.2006.12.003
- Daly, W., Seegers, C. A., Rubin, D. A., Dobridge, J. D., & Hackney, A. C. (2005). Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 93(4), 375-380. doi: 10.1007/s00421-004-1223-1
- De Souza, M. J., Arce, J. C., Pescatello, L. S., Scherzer, H. S., & Luciano, A. A. (1994). Gonadal hormones and semen quality in male runners. A volume threshold effect of endurance training. *International Journal of Sports Medicine*, 15(7), 383-391. doi: 10.1055/s-2007-1021075
- Di Luigi, L., Guidetti, L., Baldari, C., Fabbri, A., Moretti, C., & Romanello, F. (2002). Physical stress and qualitative gonadotropin secretion: LH biological activity at rest and after exercise in trained and untrained men. *International Journal of Sports Medicine*, 23(5), 307-312. doi:10.1055/s-2002-33149
- Doherty, C., Delahunt, E., Caulfield, B., Hertel, J., Ryan, J., & Bleakley, C. (2014). The incidence and prevalence of ankle sprain injury: A systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Medicine*, 44(1), 123-140. doi: 10.1007/s40279-013-0102-5
- Duclos, M. (2001). Effets de l'entraînement physique sur les fonctions endocrines. *Annales d'Endocrinologie*, 62, 19-32. PMID: 11240404
- du Plessis, S. S., Kashou, A., Vaamonde, D., & Agarwal, A. (2011). Is There a Link between Exercise and Male Factor Infertility? *The Open Reproductive Science Journal*, 3, 105-113.
- Dumont, A., Barbotin, A. L., Lefebvre-Khalil, V., Mitchell, V., Rigot, J. M., Boitrelle, F., & Robin, G. Necrozoospermia: From etiologic diagnosis to therapeutic management. *Gynécologie, obstétrique, fertilité & sénologie*, 45(4), 238-248. doi: 10.1016/j.gofs.2017.01.010
- Eisenberg, M. L., Kim, S., Chen, Z., Sundaram, R., Schisterman, E. F., & Louis, G. M. B. (2014). The relationship between male BMI and waist circumference on semen quality: data from the LIFE study. *Human Reproduction*, 29(2), 193-200. doi: 10.1093/humrep/det428.
- Esteves, S. C., Miyaoka, R., & Agarwal, A. (2011). An update on the clinical assessment of the infertile male. *Clinics*, 66(4), 691-700. doi: 10.1590/S1807-59322011000400026
- Fernandez-García, B., Lucia, A., Hoyos, J., Chicharro, J. L., Rodriguez-Alonso, M., Bandres, F., & Terrados, N. (2002). The response of sexual and stress hormones of male pro-cyclists during continuous intense competition. *International Journal of Sports Medicine*, 23(08), 555-560. doi: 10.1055/s-2002-35532
- Fry, A. C., Kraemer, W. J., & Ramsey, L. T. (1998). Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *Journal of Applied Physiology*, 85(6), 2352-2359. PMID: 9843563
- Gambini, J. (2007). *Efecto del estradiol y otros compuestos estrogénicos sobre la expresión de genes asociados a la longevidad*. Universidad de Valencia, España.
- García-Manso, J., & Valverde, T. (2016). Consequences of the Use of Anabolic-Androgenic Steroids for Male Athletes' Fertility. In: Vaamonde D., du Plessis S., Agarwal A. (eds) *Exercise and Human Reproduction*. Springer, New York, NY. doi: 10.1007/978-1-4939-3402-7_10
- García-Massó, X., Colado, J. C., & Moraes Filho, J. A. D. (2010). Atividade física profilática para profissões que usam computador: revisão bibliográfica. *Fitness & Performance Journal*, 9(1), 16-25. doi:10.3900/fpj.9.1.16.p
- Gaskins, A. J., Mendiola, J., Afeiche, M., Jørgensen, N., Swan, S. H., & Chavarro, J. E. (2013). Physical activity and television watching in relation to semen quality in young men. *British Journal of Sports Medicine*, 49(4), 265-270. doi:10.1136/bjsports-2012-091644
- Gaskins, A. J., Colaci, D. S., Mendiola, J., Swan, S. H., & Chavarro, J. E. (2012). Dietary patterns and semen quality in young men. *Human Reproduction*, 27(10), 2899-2907. doi: 10.1093/humrep/des298
- Gebreegziabher, Y., Marcos, E., McKinnon, W., & Rogers, G. (2004). Sperm characteristics of endurance trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 25(4), 247-251. doi:10.1055/s-2004-819933
- Gómez-Cabrera, M. C., Domenech, E., & Viña, J. (2008). Moderate exercise is an antioxidant: upregulation of antioxidant genes by training. *Free Radical Biology and Medicine*, 44(2), 126-131. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2007.02.001
- Grandys, M., Majerczak, J., Duda, K., Zapart-Bukowska, J., Kulpa, J., & Zoladz, J. A. (2009). Endurance training of moderate intensity increases testosterone concentration in young, healthy men. *International Journal of Sports Medicine*, 30(7), 489-495. doi:10.1055/s-0029-1202340
- Griffith, R.O., Dressendorfer, R.H., Fullbright, C.D. & Wade, C.E. (1990). Testicular function during exhaustive endurance training *The Physician and Sportsmedicine*, 18(5): 54-64. doi:10.1080/00913847.1990.11710041
- Guirao-Goris, J.A., Olmedo Salas, A. & Ferrer Ferrandis, E. (2008). El artículo de revisión. *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1(6).
- Hackney, A. C. (2006). Exercise as a stressor to the human neuroendocrine system. *Medicina (Kaunas)*, 42(10), 788-97. PMID:17090977
- Izzo, C. R., Monteleone, P. A., & Serafini, P. C. (2015). Human reproduction: current status. *Revista da Associação Médica Brasileira* (1992), 61(6), 557-559. doi: 10.1590/1806-9282.61.06.557
- Hackney, A. C., Szczepanowska, E., & Viru, A. M. (2003). Basal testicular testosterone production in endurance-trained men is suppressed. *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), 198-201. doi:10.1007/s00421-003-0794-6
- Hackney, A.C. (1998). *Testosterone and reproductive dysfunction in endurance-trained men*. En Fahey T.D. (1998). *Encyclopedia of Sports Medicine and Science*. [Internet]. Recuperado de: [http://www.sportsci.org/encyc/testosterone/testosterone.html]
- Hajizadeh Maleki, B., Tartibian, B., Eghbali, M., & Asri-Rezaei, S. (2012). Comparison of seminal oxidants and antioxidants in subjects with different levels of physical fitness. *Andrology*, 1(4), 607-614. doi: 10.1111/j.2047-2927.2012.00023.x
- Hall, H. L., Flynn, M. G., Carroll, K. K., Brolinson, P. G., Shapiro, S., & Bushman, B. A. (1999). Effects of intensified training and detraining on testicular function. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 9(4), 203-208. PMID:10593214
- Jensen, T. K., Andersson, A. M., Jørgensen, N., Andersen, A. G., Carlsson, E., Petersen, J., & Skakkebaek, N. E. (2004). Body mass index in relation to semen quality and reproductive hormones among 1,558 Danish men. *Fertility and Sterility*, 82(4), 863-870. doi:10.1016/j.fertnstert.2004.03.056

- Jensen, T. K., Jacobsen, R., Christensen, K., Nielsen, N. C., & Bostofte, E. (2009). Good semen quality and life expectancy: a cohort study of 43,277 men. *American Journal of Epidemiology*, 170(5), 559-565. doi: 10.1093/aje/kwp168
- Jungwirth, A. (2014). *Guidelines on Male Infertility*. En European Association of Urology (2014) Guidelines.
- Jurewicz, J., Radwan, M., Sobala, W., Ligocka, D., Radwan, P., Bochenek, M., & Hanke, W. (2013). Lifestyle and semen quality: role of modifiable risk factors. *Systems Biology in Reproductive Medicine*, 60(1), 43-51. doi:10.3109/19396368.2013.840687
- Karpman, E., Williams, D. H., & Lipshultz, L. I. (2005). IVF and ICSI in male infertility: update on outcomes, risks, and costs. *The Scientific World Journal*, 5, 922-932. doi:10.1100/tsw.2005.117
- Kay, V. J., & Barratt, C. L. (2009). Male obesity: impact on fertility. *The British Journal of Diabetes & Vascular Disease*, 9(5), 237-241.
- Kumar, S., Kumari, A., Murarka, S., & Kumar, M. (2009). Lifestyle factors in deteriorating male reproductive health. *Indian Journal of Experimental Biology*, 47(8), 615-24. PMID: 19775067
- Lane A., Da Costa Stein A., & Genro V. (2016). Common male reproductive tract pathologies associated with physical activity, exercise, and sport. In: Vaamonde, D., du Plessis, S., Agarwal, A. (eds) *Exercise and human reproduction*. Springer, New York, NY. doi: 10.1007/978-1-4939-3402-7_9
- Lucía, A., Chicharro, J. L., Pérez, M., Serratos, L., Bandrés, F., & Legido, J. C. (1996). Reproductive function in male endurance athletes: sperm analysis and hormonal profile. *Journal of Applied Physiology*, 81(6), 2627-2636. PMID:9018515
- Makarow, M. & Højgaard, L. (2010). Male reproductive health: Its impacts and low European fertility rates. *European Science Foundation*, (40).
- Maleki, B. H., Tartibian, B., & Vaamonde, D. (2014). The effects of 16 weeks of intensive cycling training on seminal oxidants and antioxidants in male road cyclists. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 24(4), 302-307. doi:10.1097/JSM.0000000000000051
- Manna, I., Jana, K., & Samanta P. K. (2004). Effect of different intensities of swimming exercise on testicular oxidative stress and reproductive dysfunction in mature male albino Wistar rats. *Indian journal of experimental biology*, 42(8), 816-822.
- Meeker, J. D., Godfrey-Bailey, L., & Hauser, R. (2007). Relationships between serum hormone levels and semen quality among men from an infertility clinic. *Journal of Andrology*, 28(3), 397-406. doi:10.2164/jandrol.106.001545
- Mínguez-Alarcón, L., Mendiola, J., López-Espín, J. J., Sarabia-Cos, L., Vivero-Salmerón, G., Vioque, J., ... & Torres-Cantero, A. M. (2012). Dietary intake of antioxidant nutrients is associated with semen quality in young university students. *Human Reproduction*, 27(9), 2807-2814. doi: 10.1093/humrep/des247
- Navarro J. L., Martínez, L., Castilla, J. A., Hernández, E. (2006). Coste de las técnicas de reproducción asistida en un hospital público. *Gaceta Sanitaria*, 20(5), 382-391.
- Olayemi, F. O. (2010). Review on some causes of male infertility. *African Journal of Biotechnology*, 9(20), 2834-2842.
- Pelliccione, F., Verratti, V., D'Angeli, A., Micillo, A., Doria, C., Pezzella, A., ... & Francavilla, S. (2011). Physical exercise at high altitude is associated with a testicular dysfunction leading to reduced sperm concentration but healthy sperm quality. *Fertility and Sterility*, 96(1), 28-33. doi:10.1016/j.fertnstert.2011.03.111
- Raastad, T., Bjørø, T., & Hallen, J. (2000). Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82(1-2), 121-128. doi:10.1007/s004210050661
- Redman, L. M. (2006). Physical activity and its effects on reproduction. *Reproductive Biomedicine Online*, 12(5), 579-586.
- Remes, K., Kuoppasalmi, K., & Adlercreutz, H. (1979). Effect of long-term physical training on plasma testosterone, androstenedione, luteinizing hormone and sex-hormone-binding globulin capacity. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 39(8), 743-749.
- Roberts, A. C., McClure, R. D., Weiner, R. I., & Brooks, G. A. (1993). Overtraining affects male reproductive status. *Fertility and Sterility*, 60(4), 686-692. PMID:8405526
- Rosety-Rodríguez, M., Rosety, J. M., Fornieles, G., Rosety, M. A., Diaz, A. J., Rosety, I., ... & Elosegui, S. (2014). El entrenamiento en tapiz rodante a domicilio mejora la calidad seminal en adultos con diabetes de tipo 2. *Actas Urológicas Españolas*, 38(9), 589-593. doi:10.1016/j.acuro.2013.10.013
- Ross, R., & Després, J. P. (2009). Abdominal obesity, insulin resistance, and the metabolic syndrome: contribution of physical activity/exercise. *Obesity (Silver Spring)*, 17 Suppl 3, S1-2. doi: 10.1038/oby.2009.381
- Safarinejad, M. R., Azma, K., & Kolahi, A. A. (2009). The effects of intensive, long-term treadmill running on reproductive hormones, hypothalamus-pituitary-testis axis, and semen quality: a randomized controlled study. *Journal of Endocrinology*, 200(3), 259-271. doi:10.1677/JOE-08-0477
- Sermondade, N., Faure, C., Fezeu, L., Shayeb, A. G., Bonde, J. P., Jensen, T. K., ... & Czernichow, S. (2013). BMI in relation to sperm count: an updated systematic review and collaborative meta-analysis. *Human Reproduction Update*, 19(3), 221-231. doi:10.1093/humupd/dms050
- Swan, S. H., Elkin, E. P., & Fenster, L. (2000). The question of declining sperm density revisited: an analysis of 101 studies published 1934-1996. *Environmental Health Perspectives*, 108(10), 961-966. PMID:11049816
- Tartibian, B., & Maleki, B. H. (2012). Correlation between seminal oxidative stress biomarkers and antioxidants with sperm DNA damage in elite athletes and recreationally active men. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(2), 132-139. doi:10.1097/JSM.0b013e31823f310a
- Vaamonde, D., da Silva-Grigoletto, M. E., Abbasi, A., & García-Manso, J. M. (2014). The impact of physical exercise on male fertility. In: du Plessis et al. (eds.) *Male Infertility: A complete guide to lifestyle and environmental factors*. (Chapter 4; pp: 47-60). doi: 10.1007/978-1-4939-1040-3
- Vaamonde, D., Da Silva-Grigoletto, M. E., Fernandez, J. M., Algar-Santacruz, C., & García-Manso, J. M. (2014). Findings on sperm alterations and DNA fragmentation, nutritional, hormonal and antioxidant status in an elite triathlete. Case report. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 7(4), 143-148. doi: 10.1016/j.ramd.2014.07.001
- Vaamonde, D., Da Silva-Grigoletto, M. E., García-Manso, J. M., Cunha-Filho, J. S., & Vaamonde-Lemos, R. (2009a). Sperm morphology normalcy is inversely correlated to cycling kilometers in elite triathletes. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2, 43-46.
- Vaamonde, D., Da Silva-Grigoletto, M. E., García-Manso, J. M., & Vaamonde-Lemos, R. (2012). Differences in sperm DNA fragmentation between high- and low-cycling volume triathletes: preliminary results. *Fertility and Sterility*, 98(3), S85. doi: 10.1016/j.fertnstert.2012.07.307
- Vaamonde, D., Da Silva-Grigoletto, M. E., García-Manso, J. M., Vaamonde-Lemos, R., Swanson, R. J., & Oehninger, S. C. (2009b). Response of semen parameters to three training modalities. *Fertility and Sterility*, 92(6), 1941-1946. doi:10.1016/j.fertnstert.2008.09.010
- Vaamonde, D., Da Silva, M. E., García-Manso, J. M., Barrera, N., & Vaamonde-Lemos, R. (2012). Physically active men show better semen parameters and hormone values than sedentary men. *European Journal of Applied Physiology*, 112(9), 3267-3273. doi: 10.1007/s00421-011-2304-6
- Vaamonde, D., Da Silva, M. E., Poblador, M. S., & Lanchos, J. L. (2006). Reproductive profile of physically active men after exhaustive endurance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 27(9), 680-689. doi: 10.1055/s-2005-872906
- Vaamonde, D., Algar-Santacruz, C., Abbasi, A., & García-Manso, J. M. (2017). Sperm DNA fragmentation as a result of ultra-endurance exercise training in male athletes. *Andrologia*, Mar 15. doi:10.1111/and.12793
- Vaamonde, D., Fernández, J., Algar-Santacruz, C., & García-Manso, J. (2016). Nutritional Strategies to Reduce Potential Fertility Problems Induced by Exercise. Nutritional and Exercise Strategies to Improve Fertility Disorders. In: Vaamonde D., du Plessis S., Agarwal A. (eds) *Exercise and Human Reproduction*. Springer, New York, NY. doi: 10.1007/978-1-4939-3402-7_20
- Vaamonde, D., Garcia-Manso, J. M., Hackney, A. C. (2017). An impact of physical activity and exercise on male reproductive potential: a new assessment questionnaire. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 10(2), 79-93. doi: 10.1016/j.ramd.2016.11.017
- Wise, L. A., Cramer, D. W., Hornstein, M. D., Ashby, R. K., & Missmer, S. A. (2011). Physical activity and semen quality among men attending an infertility clinic. *Fertility and Sterility*, 95(3), 1025-1030. doi: 10.1016/j.fertnstert.2010.11.006
- Yu, B., Mumford, S., Royster, G. D. 4th, Segars, J., & Armstrong, A.Y. (2014). Cost-effectiveness analysis comparing continuation of assisted reproductive technology with conversion to intrauterine insemination in patients with low follicle numbers. *Fertility and sterility*, 102(2), 435-439. doi: 10.1016/j.fertnstert.2014.05.015