

Respuesta fisiológica a pruebas de esfuerzo máximas en mujeres deportistas

Autora: Alicia Mato Pérez

Tutor del TFM: José Morales Aznar

Tutores de prácticas: Jonathan Galán Carracedo y Andrea Suárez Segade



Facultat de Psicologia, Ciències
de l'Educació i de l'Esport Blanquerna

Universitat Ramon Llull

ÍNDICE

Resumen

1. Introducción	4
2. Diferencias entre el sexo femenino y masculino que afectan al rendimiento deportivo	5
2.1.Composición corporal	5
2.2.Factores biomecánicos	5
2.3.Sistema cardiovascular	6
2.4.Sistema respiratorio	7
2.5.Metabolismo	8
2.6.Sistema hormonal	9
2.6.1. Testosterona	10
2.6.2. Estrógeno	11
2.6.3. Adaptar el entrenamiento al ciclo menstrual	12
3. Objetivos e hipótesis	15
3.1.Objetivos	15
3.2.Hipótesis	15
4. Metodología y sujetos	16
4.1.Sujetos y diseño del estudio	16
4.2.Aspectos éticos	16
4.3.Procedimiento del estudio	16
4.3.1. Medidas antropométricas	17
4.3.2. Medidas cardiorrespiratorias	17
4.3.3. Protocolo de la prueba de esfuerzo	18
4.3.4. Cálculos de oxidación de grasas y carbohidratos	18
4.3.5. Medición de lactato	18
4.3.6. Medición de la temperatura corporal	19
4.3.7. Análisis estadístico	19
5. Resultados	
5.1.Análisis de la muestra	19
5.2. Comparación de las variables fisiológicas	20
6. Discusión	23
7. Conclusión	26
8. Bibliografía	28
9. Anexo 1. Tablas	31
10. Anexo 2. Gráficas	32

Resumen:

Gran parte de los estudios científicos han estado basados en la participación única y exclusivamente de hombres. Con el paso del tiempo, las mujeres también pudieron formar parte de la investigación clínica, pero el gran problema fue que no se discriminaron los resultados en función del sexo de los sujetos.

Esto tuvo un gran impacto a la hora de proporcionar tratamientos a enfermedades que eran más incidentes en mujeres que en hombres, pero que habían basado sus resultados en pruebas realizadas mayoritariamente a hombres. Todo esto provocó efectos secundarios en diversas ocasiones y, a mayores, una falta de especificidad a la hora de dirigir programas médicos dirigidos a la población femenina.

Este problema se ha repetido en distintos ámbitos, como es el mundo deportivo. Uno de los grandes errores al no diferenciar a deportistas masculinos de deportistas femeninas, es ignorar las diferencias fisiológicas que afectan al rendimiento deportivo: el sistema cardiovascular, la propia composición corporal, el sistema nervioso, la capacidad pulmonar, la respuesta termorregulatoria, etc.

Por eso, sería de gran interés científico y deportivo estudiar a deportistas femeninas en lo que a la respuesta fisiológica a la actividad física se refiere, para comprender cómo responden las mujeres al esfuerzo y optimizar así su rendimiento deportivo. Además, al conocer mejor todos los condicionantes fisiológicos de las mujeres, se pueden concretar mucho más los programas de entrenamiento y la nutrición de estas deportistas para mejorar sus marcas y objetivos deportivos.

Por eso, mi estudio trata de realizar un análisis detallado de la respuesta fisiológica al deporte en mujeres deportistas. Para profundizar más, se compararán los resultados de mujeres con un mayor nivel de entrenamiento con los de mujeres moderadamente entrenadas, en función de sus valores de VO_{2max} .

Serán 35 mujeres deportistas, subdivididas en dos grupos en función de su VO_{2max} y catalogadas como alta o moderadamente entrenadas. Estas deportistas realizaron pruebas de esfuerzo máximas con el mismo protocolo, analizando en todo momento parámetros fisiológicos obtenidos en dichas pruebas y plasmando los resultados en un informe explicativo, de gran interés para las deportistas y sus entrenadores.

Con estos resultados, se podrá conocer cómo las mujeres deportistas pueden reportar mejoras fisiológicas notables al aumentar ligeramente su rendimiento deportivo. Esto podría dar pie a comprender la necesidad de especificidad en el entrenamiento de deportistas teniendo en cuenta el género y, a mayores, su fisiología y todos los condicionantes que veremos en este trabajo que influyen en el rendimiento deportivo.

1. Introducción:

Uno de los grandes problemas de los estudios clínicos ha sido y es la incapacidad de escoger a participantes que representen a la población o subpoblación objetivo del tratamiento del propio estudio. Una de las más importantes consecuencias que esto ha traído es que se apliquen tratamientos a mujeres basados en resultados obtenidos con sujetos masculinos. Y, evidentemente, esto influye en la eficacia del tratamiento, pues hombres y mujeres diferimos en términos metabólicos, farmacocinéticos, patrones de enfermedades y en los efectos adversos a fármacos (Wallach et al., 2016).

Estudios observaron cómo las mujeres son infrarrepresentadas en estudios clínicos llevados a cabo desde 1966 hasta 2018 recogidos en *Pubmed* y en *ClinicalTrials.gov* desde 1999 hasta 2018. Los resultados obtenidos fueron que, efectivamente, las mujeres no estaban representadas en igualdad numérica en 7 de las 11 categorías de enfermedades, sobre todo en HIV y enfermedades cardiovasculares (Feldman et al., 2019).

No solo es una equivocación no tener en cuenta las diferencias a la hora de tratar enfermedades en hombres y mujeres, sino que este gran fallo en la investigación se ha trasladado a veces al mundo del deporte. Aunque actualmente ya existan protocolos y planes de entrenamiento que reconocen y respetan las diferencias fisiológicas, anatómicas y biomecánicas entre el sexo masculino y el femenino, todavía falta una mayor especialización e investigación para conseguir optimizar al máximo el entrenamiento de las mujeres deportistas.

Toda esta alta especificación en el deporte está teniendo mucha relevancia hoy en día y cada vez se apuesta más por las deportistas de élite femeninas. Por otro lado, también hay estudios que han observado cómo ha sido la evolución progresiva del papel de las deportistas en los Juegos Olímpicos y han llegado a la conclusión de que, si no hay una mayor diferenciación entre deportistas masculinos y femeninos, nunca se podrá romper esa brecha que separa los récords entre ambos sexos (Thibault et al., 2010).

Por eso, mi interés fue el de realizar un proyecto en el cual se estudiaran específicamente los parámetros fisiológicos de mujeres deportistas mientras realizaban una prueba de esfuerzo máximo.

Se trata de pruebas de esfuerzo con un protocolo continuo escalonado máximo, siendo las deportistas las que pidan finalizar la prueba o, si no, cuando se observe que no consiguen terminar el estadio del protocolo en el que se encuentran.

Durante estas pruebas, se obtuvieron datos de diversos parámetros fisiológicos, siendo los más importantes el $Vo_{2m\acute{a}x}$, temperatura, niveles de lactato en sangre, frecuencia cardíaca máxima ($FC_{m\acute{a}x}$), percepción del esfuerzo (RPE), consumos energéticos de carbohidratos (CHO_x) y de grasas (FAT_{ox}) y el coeficiente respiratorio (RER).

Los resultados de estudios anteriores nos muestran que, efectivamente, hay diferencias significativas entre los parámetros obtenidos mediante pruebas de esfuerzo en hombres y mujeres (Sharma & Kailashiya, 2016).

Todo esto tiene una gran importancia en el ámbito deportivo, pues cada vez son más las mujeres que se suman al deporte y que lo practican a alto nivel. Para poder optimizar el rendimiento de estas deportistas, es fundamental realizar estudios como este en el que se plasmen los valores fisiológicos alcanzados por mujeres en pruebas de esfuerzo máximas. A través de todos los valores que obtenemos con estas pruebas, podemos pasar a planificar de forma muy específica tanto

el entrenamiento como los requerimientos nutricionales para hacer de esta mujer una gran deportista.

2. Diferencias entre el sexo femenino y masculino que afectan al rendimiento deportivo

Lo cierto es que existen diferencias a muchos niveles entre ambos sexos que pueden afectar al rendimiento deportivo. Me centraré en las que he considerado más importantes y fáciles de estudiar en la realidad deportiva actual.

2.1. Composición corporal

Una de las grandes diferencias que afectan al rendimiento deportivo, es la mayor cantidad de masa muscular presente en los sujetos masculinos en comparación con las mujeres. Son varios los estudios que han observado cómo hay una mayor masa muscular en hombres que en mujeres, estudiándolo con densitometría ósea (DEXA) y esto, normalmente, se asocia a una mayor fuerza y rendimiento deportivo en muchos casos (Janssen et al., 2000).

También se observó que hay una distribución diferente de dicha masa muscular en los sujetos femeninos, pues acostumbran a tener una menor masa muscular en la parte superior del cuerpo. En cambio, en proporción a su peso se ha llegado a ver que las mujeres pueden tener una mayor masa muscular en las extremidades inferiores, también analizado con DEXA (Gallagher & Heymsfield, 1998).

Es muy determinante conocer los patrones de disposición de grasa corporal en hombres y mujeres, pues es un gran condicionante de la salud y del riesgo cardiovascular. Se ha observado que hay una mayor tendencia en hombres a tener tejido adiposo visceral, lípidos intrahepáticos y lípidos intramiocelulares; en mujeres, se da una mayor acumulación de grasa en las extremidades inferiores. Este patrón sería favorable para el riesgo cardiovascular en mujeres, mientras que en hombres la distribución del tejido adiposo resulta perjudicial y aumenta el riesgo cardiovascular (Schorr et al., 2018).

A mayores, la composición corporal y la distribución del tejido adiposo en nuestro organismo, no solo afectará a nuestra salud en gran medida, sino que también compromete de forma muy notable el rendimiento deportivo. Esto se ha evidenciado en estudios en los cuales se ha comprobado cómo hay una relación inversa entre los valores de IMC de sujetos deportistas y valores obtenidos en pruebas como el salto en contramovimiento (CMJ) o la fuerza medida con *handgrip* (Nikolaidis & Ingebrigtsen, 2013).

Por último, hay que tener en cuenta que las diferencias antropométricas también se relacionan con otros factores como la termorregulación, entre otros. De hecho, lo que se ha visto es que debido a una mayor proporción de tejido graso en las mujeres, estas reportan una menor temperatura superficial en el tronco y en las extremidades inferiores y superiores. Esta condición de una menor temperatura basal se ha visto que provoca finalmente una mayor susceptibilidad en mujeres al estrés térmico, lo cual influirá en entrenamientos o competiciones donde el clima sea cálido, pues las deportistas tendrán una desventaja en comparación con los hombres (Neves et al., 2017).

2.2. Factores biomecánicos

En deportes de resistencia, uno de los conceptos más utilizados actualmente es la economía de carrera o *running economy* (RE). Por definición, sería el consumo de oxígeno (VO_2 /kg /min) que necesita nuestro organismo para correr a una velocidad submáxima en concreto. Es un concepto que va tomando mayor relevancia a medida que aumenta la velocidad recorrida y es por eso que,

en corredores de fondo, se ha vuelto indispensable estudiar cómo ser más económicos en las carreras (Conley & Krahenbuhl, 1980).

Son muchos los factores que afectan a la economía de la carrera como los fisiológicos, el ambiente, el propio entrenamiento, valores antropométricos y, muy importante también, los factores biomecánicos.

Dentro de estos factores biomecánicos destacan la flexibilidad, la capacidad de almacenar energía elástica, la morfología de las piernas, la distancia de zancada, factores cinemáticos y cinéticos e, incluso, la superficie del terreno sobre el cual se entrena (Saunders P.U. et al., 2004).

Como cabe esperar, hay diferencias significativas entre hombres y mujeres en distintos factores biomecánicos. Una diferencia notable reside en que la longitud de las extremidades inferiores respecto a la longitud total suele ser inferior en mujeres que en hombres. Esto acaba provocando que las mujeres alcancen menores velocidades en carrera, además de que disminuye el torque necesario para producir cualquier velocidad angular por una disminución del momento de inercia (Alexander, 1996).

Otro de los factores influyentes estudiados es la pelvis. Anatómicamente, la pelvis de las mujeres es más ancha en relación con las dimensiones totales de la pierna, en comparación con los hombres. Esto acaba provocando en sujetos femeninos un varo en la cadera, que se suele asociar con una anteversión incrementada de la cabeza femoral, un mayor valgo de rodilla y un valor del ángulo Q aumentado (Arendt, 1994).

En cuanto a este ángulo Q, se estima que los valores normales son de 15° en hombres y 17° en mujeres, debido a estas diferencias anatómicas que he comentado. Pero, si se supera el valor de 20°, se considera patológico y trae lesiones rotulianas como el síndrome patelofemoral, entre otras (Eng & Pierrynowski, 1993).

Además de estos factores, también hay otras tantas diferencias anatómicas inherentes al hecho de ser mujer, como el peso de la pierna en relación con el peso total, que es mayor que en hombres, una mayor deposición de la grasa en los muslos, fémures más oblicuos, etc. Por lo tanto, son muchos los factores biomecánicos que difieren en ambos sexos y que, como resultado final, podrían provocar una disminución de la economía de la carrera. Y no sólo hablamos de que los factores biomecánicos afecten a dicha economía, sino que también pueden poner en riesgo a la salud de las mujeres deportistas, que tendrán que realizar trabajos específicos teniendo en cuenta su anatomía y su biomecánica para no tener mayor riesgo de lesión y pérdida de rendimiento. (Alexander, 1996)

2.3. Sistema cardiovascular

Uno de los factores más importantes en deportes de resistencia, es sin duda el sistema cardiovascular. Es fundamental para que haya un correcto aporte de oxígeno a los tejidos, en especial al músculo esquelético que será el principal demandante cuando realizamos alguna actividad física.

De hecho, uno de los indicadores más importantes en un deportista es el $Vo_{2m\acute{a}x}$. Por definición, sería el volumen máximo de oxígeno que somos capaces de movilizar durante una actividad física, que nos determinará cuánto podremos alargar en el tiempo un esfuerzo sin claudicar.

Además, no solo es un indicador de la calidad deportiva, sino que también es un factor que disminuye la probabilidad de sufrir un accidente cardiovascular. De hecho, un pequeño aumento de 3.5 ml/min/kg se estima que se relaciona con una reducción del 13% de probabilidad de sufrir un evento cardiovascular (Lee et al., 2010).

Se expresa en mililitros de oxígeno por quilogramo corporal y minuto (ml/kg/min) y en la población general los valores suelen estar alrededor de 40-50 ml/kg/min, mientras que en deportistas profesionales aumentan mucho estos valores.

Actualmente, el valor más elevado del VO₂máx se ha visto en Oskar Svendsen, un ciclista noruego, que alcanzó un VO₂máx de 97,5 ml/kg/min. En cambio, el récord femenino lo reportó Joan Benoit (campeona olímpica de maratón, con un valor de 78,6 ml/kg/min).

El mejor método para mejorar los valores de este parámetro es el entrenamiento de *endurance*, ya que aumenta los valores relativos y absolutos del VO₂máx. Pero lo que se había observado hasta la fecha es que este entrenamiento era más efectivo en hombres que en mujeres, pues los valores finales de VO₂máx eran mayores en hombres en comparación con las mujeres.

Es por eso por lo que un estudio sistemático decidió recoger todos los estudios anteriores a febrero de 2019 que observasen los cambios en el VO₂máx en mujeres con entrenamientos de resistencia. Finalmente, encontraron que el aumento de los valores de VO₂máx aumentaban significativamente más en hombres que en mujeres (Diaz-Canestro & Montero, 2019).

Estos resultados explicarían el porqué de los valores menores de VO₂máx en mujeres deportistas de élite. La explicación no es que entrenen menos o peor que los deportistas de élite masculinos, sino que la adaptación al entrenamiento de resistencia es más compleja en las deportistas. Entre otras cosas, las mujeres tienen un menor contenido de hemoglobina, que provoca un menor contenido de oxígeno a nivel arterial y un bajo potencial oxidativo muscular. Todo esto proporciona niveles menores de VO₂máx en comparación con los hombres, pues el organismo femenino está menos capacitado para aportar oxígeno al músculo esquelético (Esfuerzo et al., n.d.).

Otro parámetro que difiere entre deportistas masculinos y femeninos, es la frecuencia cardíaca que, normalmente, se observaba más alta en ejercicios submáximos en comparación que hombres. En cambio, la frecuencia cardíaca máxima (FCmáx) era prácticamente igual para estos dos sexos, al igual que el gasto cardíaco (Q) que reportaba valores muy similares entre deportistas. Teniendo en cuenta que el gasto cardíaco es igual al volumen sistólico multiplicado por la frecuencia cardíaca y teniendo en cuenta que este último valor es mayor en las mujeres, el volumen sistólico debe tener valores menores en las deportistas para que la frecuencia cardíaca sea similar entre ambos sexos.

De hecho, este volumen sistólico sí es menor en mujeres y hay tres posibles explicaciones:

- El corazón de las mujeres tiene un menor tamaño. Por lo tanto, los ventrículos izquierdos también serán de menor tamaño en comparación con los ventrículos de los hombres y esto provoca que haya un menor volumen sistólico, pues el corazón tiene menos capacidad de llenarse de sangre.
- Las mujeres también tienen un menor volumen total sanguíneo en comparación con hombres, influenciado esto por el menor tamaño corporal de las mujeres.
- La tendencia sedentaria ha sido normalmente más popular entre las mujeres y esto ha afectado al condicionamiento de las respuestas cardiovasculares al ejercicio (Ruiz-Argüelles, 2014).

2.4. Sistema respiratorio

Otro gran condicionante a la hora de realizar ejercicio físico es, sin duda, el sistema respiratorio. Este está muy ligado al sistema cardiovascular, pues su correcto funcionamiento también dependerá de un buen flujo sanguíneo para que se dé el intercambio de oxígeno y la circulación sea óptima durante el ejercicio.

Uno de los factores más condicionantes será la propia anatomía de nuestro sistema respiratorio, pues afectará a la capacidad de dicho sistema. En las mujeres, la anatomía no resulta ser una ventaja, ya que presentan unas vías aéreas menores para un determinado volumen pulmonar respecto a los hombres. Además, no solo tienen unas vías aéreas de menor tamaño, sino que los pulmones también son menores, tienen flujos expiratorios máximos menores y una menor capacidad de difusión relativa que los hombres (Dominelli et al., 2011).

Además, también se ha estudiado que las mujeres tienen mayor probabilidad de experimentar una limitación del flujo expiratorio y que realizan un mayor esfuerzo respiratorio para conseguir una ventilación determinada (VE) durante el ejercicio, en comparación con los hombres (Guenette et al., 2007).

Debido a todos estos condicionantes, sería de esperar que los músculos respiratorios de las mujeres fuesen más susceptibles a la fatiga. En cambio, lo que se ha visto es que uno de los músculos fundamentales a nivel respiratorio, el diafragma, resulta ser más resistente a la fatiga en mujeres que en hombres durante un ejercicio de carga constante. En cambio, el diafragma se ha observado que a intensidades elevadas y constantes tiene una menor influencia en la generación de presión y, por lo tanto, su contribución a nivel respiratorio es menor de lo que cabría esperar. Por lo tanto, tiene que haber otros músculos que intervengan en la respiración que sean resistentes a la fatiga en las mujeres, para explicar esta resistencia a la fatiga respiratoria que hemos comentado.

Con electromiografía (EMG), se observó que la activación del diafragma era similar en mujeres y hombres durante el ejercicio. En cambio, las mujeres dependían más de la activación del esternocleidomastoideo y de los músculos escalenos para conseguir la misma intensidad relativa al ejercicio o los niveles de ventilación absolutos que los hombres. Todavía no se conoce si esta activación de músculos extra diafragmáticos juega a favor o en contra del rendimiento deportivo, pero sí se sabe que es un mecanismo compensatorio para intentar llegar a valores de ventilación máximos durante el ejercicio (Mitchell et al., 2018).

2.5. Metabolismo

En deportistas de alto nivel, es fundamental tener en cuenta cuál es su perfil metabólico, ya que influirá notablemente en las estrategias nutricionales a seguir y, evidentemente, en su rendimiento. Pero no solo debería hacerse en deportistas de élite, sino que también los deportistas que practiquen una disciplina a nivel *amateur* y que compitan frecuentemente, aunque no sea en categorías muy elevadas, podrían verse beneficiados del estudio de su metabolismo.

Pero hay que tener claro que no veremos los mismos perfiles metabólicos en hombres y en mujeres y, en consecuencia, sería un grave error establecer las mismas pautas de entrenamiento o de nutrición para ambos sexos.

Anteriormente ya se ha estudiado que las deportistas presentan unos valores de cociente respiratorio (RER) inferiores que los observados en hombres, así como una menor dependencia de las reservas hepáticas de carbohidratos. Lo que todavía queda por conocer es si se debe a una menor glicogenolisis hepática, una menor gluconeogénesis o una combinación de ambas explicaciones (Devries et al., 2006).

También el género es determinante en cuanto al metabolismo lipídico en deportes de resistencia. Sobre todo, lo que se han reportado son valores mayores de glicerol en las mujeres mientras realizaban ejercicio. Esto nos indica que, efectivamente, las mujeres mientras realizan este tipo de actividad física utilizan mayormente como sustrato las grasas.

Una de las posibles explicaciones para este aumento del metabolismo lipídico en las mujeres, puede ser que las mujeres tienen una mayor cantidad de lípidos intramiocelulares (IMC) que pueden actuar como sustratos energéticos durante el ejercicio. Entonces, al tener mayores reservas de grasas – que son una fuente energética muy buena para ejercicios de resistencia – el metabolismo se decanta por su utilización (Devries et al., 2007). Todas las vías energéticas veremos que presentan diferencias entre ambos sexos (**Figura 1**) y la última fuente energética de la que disponemos son las proteínas. Su metabolismo también se ve afectado por la cuestión de género, sobre todo el metabolismo que envuelve a la leucina. La leucina es uno de los aminoácidos más estudiados en el ejercicio, considerada como una gran ayuda ergogénica validada para favorecer la síntesis proteica, la recuperación energética y muscular e incluso para actuar como fuente energética. Pues, dicha leucina se ha observado que es oxidada menormente en mujeres que en hombres, además de que las reservas de leucina no oxidativa son mayores en las mujeres (Devries, 2016).

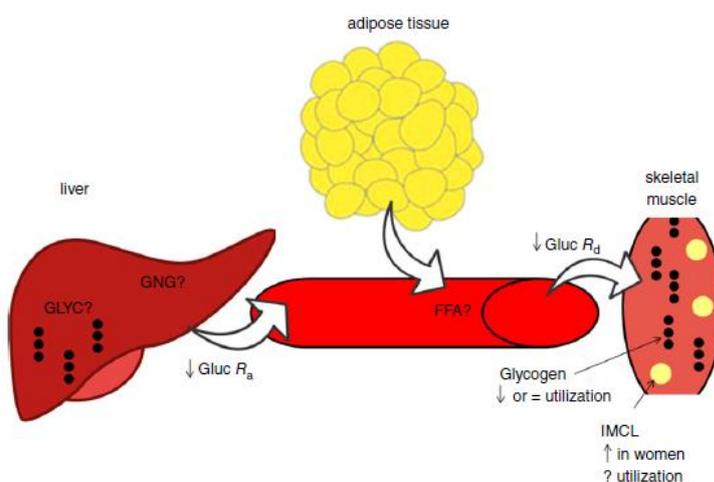


Figura 1. Esquema que describe las principales diferencias en el metabolismo de hombres y mujeres. Se observan dos vías energéticas y los órganos o sistemas que se ven involucrados. En mujeres, hay una menor tasa de aparición de glucosa (R_a) que no se conoce si se debe a una menor gluconeogénesis (GNG) o glucogenólisis (GLYC) y una menor tasa de desaparición de glucosa (R_d); se desconoce si hay en sangre una mayor cantidad de ácidos grasos (FAA) pero sí se observa una menor utilización de glicógeno y un aumento de los niveles de lípidos intramiocelulares (IMCL) (Devries et al., 2007).

Teniendo en cuenta todas estas diferencias en torno a nuestras tres principales fuentes energéticas que utilizamos para realizar actividad física, es sin duda indispensable que la nutrición vaya ligada al perfil metabólico del deportista en cuestión.

2.6. Sistema hormonal

Una de las razones por las cuales se excluyen a las mujeres de estudios clínicos, es sin duda por la influencia que tiene el sistema hormonal en las respuestas fisiológicas en la nutrición, estado de ánimo, la respuesta a fármacos, el metabolismo y en el rendimiento deportivo, entre otros.

Centrándonos en cómo afecta esto al rendimiento deportivo, habría que preguntarse primero a partir de cuándo comienza a ser relevante el sistema hormonal en ambos sexos. Siguiendo los resultados de diversos estudios, parece que a partir de los 12-13 años es cuando comienzan a cobrar gran importancia las diferencias hormonales en lo que al ejercicio físico se refiere. En este momento, la testosterona de los hombres comienza a aumentar sus niveles hasta alcanzar al final de la pubertad entre 10 y 15 veces más que los niveles de testosterona en mujeres (Handelsman, 2017).

2.6.1. Testosterona

Aunque no es la única protagonista, la testosterona es una hormona clave en el rendimiento deportivo. Se trata de una hormona andrógena y esto quiere decir que es capaz de desarrollar y de mantener las características masculinas reproductivas en los tejidos (sobre todo en los genitales, pero también en órganos relacionados con características secundarias sexuales y la fertilidad), así como también contribuyen al estado anabólico de tejidos no reproductivos (Handelsman, n.d.).

Tras la pubertad, la producción de la testosterona incrementa también en las mujeres, pero tan solo alcanza niveles menores a 2nmol/L, mientras que en los hombres se secretan entre 3 y 7 miligramos por día de testosterona. Esto acaba provocando que las concentraciones de testosterona en sangre sean menores en las mujeres y esto tendrá un efecto indirecto en el rendimiento deportivo, ya que afectará a fenómenos andrógenos en el músculo, hemoglobina y huesos.

Uno de los efectos que tendrá mayor importancia es el mecanismo de acción de la testosterona en el tejido muscular. Actualmente se conoce que las hormonas andrógenas como la testosterona o la DHT se unen a los receptores andrógenos (AR) que se encuentran en las células del músculo esquelético. Esta unión acaba provocando una cascada molecular donde se activan proteínas chaperonas, dimerizan y translocan al núcleo para unirse a las regiones de respuesta a andrógenos de los promotores de ADN en genes sensibles a andrógenos.

Todo esto acaba provocando incrementos del tamaño y número de fibras musculares, mayor número de células musculares satélite (que indican proliferación), más mionúcleos y un aumento de tamaño de motoneuronas. Incluso hay evidencia experimental de que la testosterona provoca un aumento de la expresión de miostatina en el músculo esquelético, biogénesis mitocondrial, expresión de mioglobina y mayor contenido de IGF-1. Todo esto implica que, gracias a la respuesta que desencadena la testosterona a nivel muscular, se da un aumento energético y también de generación de potencia en el tejido musculoesquelético (Handelsman et al., 2018).

Otro mecanismo muy importante en el que interviene la testosterona es en la regulación de los niveles de hemoglobina circulante. Dichos niveles son andrógeno-dependientes y es por eso por lo que son un 12% de media superiores en hombres que en mujeres.

No se conoce completamente cómo la testosterona provoca que haya mayores niveles de hemoglobina en el organismo, pero sí se conoce que incrementa la secreción y la sensibilidad a la eritropoyetina, que es la hormona que favorece la síntesis de eritrocitos y, en consecuencia, la síntesis de hemoglobina. Además de esto, la eritropoyetina también regula negativamente a la hepcidina, que es una hormona muy importante para regular los niveles de hierro en el organismo. La regulación del hierro es fundamental para que haya una buena eritropoyesis y un buen funcionamiento de proteínas como la hemoglobina, mioglobina y otras proteínas dependientes de hierro como los citocromos y enzimas reparadoras y sintetizadoras de ADN.

Por lo tanto, la testosterona facilita que haya un aumento de la hemoglobina en sangre que trae como consecuencia un incremento del transporte de oxígeno desde los pulmones hacia el resto de los tejidos. Se estima que, debido a los niveles de hemoglobina mayores en un 12% en hombres respecto a mujeres, habrá una mejora en la transferencia de oxígeno del 10% en hombres. Esto, evidentemente, será una ventaja en la capacidad cardiovascular y, sobre todo, jugará a favor de los hombres en deportes de resistencia donde dicha capacidad es fundamental (Handelsman et al., 2018).

Finalmente, la testosterona tiene otra diana fundamental que es el tejido óseo. Aunque la evidencia experimental solo se ha comprobado en modelos animales, se ha observado que la testosterona circulante tiene efectos indirectos y directos en los receptores de andrógenos del tejido óseo.

El hueso crece en longitud debido al crecimiento epifisario, proporcionando cartílago y la matriz necesaria para alargar el hueso. Este complejo proceso finaliza gracias a un mecanismo dependiente de estrógenos, que finaliza con la aromatización de testosterona a estradiol. Por otro lado, crece también en ancho y densidad debido a un crecimiento de la expansión perióstica y endostática que dependen de la exposición a andrógenos, junto con otros factores.

Por lo tanto, el crecimiento óseo depende en gran medida de la exposición a andrógenos, sobre todo a la testosterona, que se sabe que es mucho mayor en hombres que en mujeres a partir de la pubertad. Esto provoca que los hombres tengan unos huesos más largos y fuertes, así como puntos de apoyo mayores en las extremidades que facilitarán la práctica deportiva en saltos, lanzamientos o en movimientos explosivos que requieran potencia muscular (Handelsman et al., 2018).

2.6.2. Estrógenos

Los estrógenos son, sin duda, las hormonas sexuales femeninas más conocidas y estudiadas hasta el momento. Esto es porque intervienen en procesos muy importantes en el desarrollo de tejidos gonadales y extra gonadales, como el tejido óseo, músculos y tejidos conectivos (Hansen, 2018).

En mujeres jóvenes, los estrógenos se producen a partir del colesterol en toda una serie de reacciones que tiene lugar en los ovarios. El último paso de este proceso es convertir la testosterona a estradiol gracias a la enzima aromatasa. De hecho, en hombres y en mujeres postmenopáusicas, dicha reacción se hará en el tejido adiposo, ya que es rico en la enzima aromatasa.

Como se trata de una hormona esteroidea, el estrógeno puede atravesar libremente la membrana plasmática y dirigirse al núcleo, donde se une a los receptores de estrógenos (ER) de tipo alfa y beta, para modificar la expresión génica. Sus efectos postranscripcionales son diversos y algunos de los más importantes son la regulación del estado redox de la célula, control del funcionamiento mitocondrial y también la inhibición de enzimas específicas.

Estos receptores se encuentran en diversos tejidos como el músculo y el hueso, además de ligamentos y tendones. No se saben todavía los mecanismos exactamente, pero sí se conoce que en todos estos tejidos los estrógenos regulan el metabolismo. De hecho, en la menstruación – momento en el que hay una bajada significativa de los niveles de estrógeno – se dan más casos de rupturas de ligamento cruzado anterior (ACL). Y, cuando los niveles de estrógeno fisiológicos caen en la menopausia, hay una mayor incidencia de lesiones musculoesqueléticas, así como una degeneración ósea y muscular acelerada y una pérdida de sensibilidad frente a estímulos anabólicos (Enns & Tiidus, 2010).

Los estrógenos provocan toda una serie de efectos metabólicos en el músculo esquelético. Con animales experimentales a los que se les practicó ovariectomía – lo cual anularía la producción de estrógenos – sufrían una disminución de la función mitocondrial, micro viscosidad de la membrana y de la actividad de los complejos I y I+III. Además, también aumentaban los niveles de H₂O₂ mitocondrial, pero disminuían proteínas antioxidantes como la peroxidasa glutatión, catalasa y la superóxido dismutasa. Todo esto indica que, a nivel metabólico en el músculo, los estrógenos juegan un papel fundamental para el correcto funcionamiento y para poder realizar ejercicio físico.

No solo es importante a nivel metabólico, sino que en modelos animales también ha demostrado beneficiar la masa muscular y la fuerza, pues animales con deficiencia de estrógenos acababan disminuyendo su fuerza muscular y también el tamaño del área de sus fibras musculares. Junto con el papel que juegan los estrógenos en el metabolismo, podemos asumir que estas hormonas son fundamentales para aumentar el rendimiento deportivo y para poder conseguir las adaptaciones necesarias a la actividad física (Chidi-Ogbolu & Baar, 2019).

Por otro lado, también estas hormonas actúan y permiten el correcto funcionamiento de ligamentos y tendones. De hecho, esto se ha estudiado sobre todo en mujeres debido a que muestran una mayor incidencia de rotura de ligamento cruzado anterior en comparación con los hombres, estimándose una mayor incidencia de 2 a 8 veces. Una de las posibles explicaciones es que la laxitud de la rodilla varía a lo largo del ciclo menstrual y dicha laxitud se correlaciona con la rotura del ligamento cruzado anterior.

De hecho, en la fase preovulatoria del ciclo menstrual en la cual hay un aumento de los niveles de estrógenos, incrementa la laxitud de la rodilla y esto se relaciona con una probabilidad mayor de sufrir rotura de ligamento, sobre todo de cruzado anterior. Es por eso por lo que muchas deportistas consideran la posibilidad de tomar anticonceptivos orales para prevenir los cambios en la laxitud de sus articulaciones y así evitar el riesgo aumentado de lesión ligamentosa.

Y, finalmente, los estrógenos tienen una acción directa sobre los tendones. Se ha observado que en los tendones de las mujeres hay una menor rigidez en comparación con los hombres y, en consecuencia, tienden a sufrir menos lesiones como la del tendón de Aquiles hasta llegar a la menopausia. En este caso, en cambio, los anticonceptivos orales parece que aumentan el riesgo de sufrir tendinopatía de Aquiles y que los niveles fisiológicos de estrógenos resultan beneficiosos como prevención lesiva (Chidi-Ogbolu & Baar, 2019).

Teniendo en cuenta el papel fundamental que juegan las hormonas sexuales femeninas en los diversos tejidos explicados, es crucial saber cómo varía la situación hormonal a lo largo del ciclo menstrual y también saber adaptar el entrenamiento a cada momento del ciclo. En muchas ocasiones se ha recomendado el uso de anticonceptivos orales para poder mantener regulares los niveles de estrógenos y progesterona, en cambio quizás habría que estudiar más a fondo el ciclo menstrual fisiológico de mujeres deportistas para actuar en consecuencia.

2.6.3. Adaptar el ciclo menstrual al entrenamiento

Debido a los efectos que tiene el ciclo menstrual en los tejidos que recientemente he explicado – además de otras alteraciones que se ha demostrado que el ciclo menstrual provoca, como la retención de líquidos, cambios en la temperatura corporal o alteraciones en el metabolismo –, se han realizado muchas investigaciones sobre cómo se podría adaptar el entrenamiento al momento del ciclo menstrual de una deportista. Para poder entender esto, hay que conocer a la perfección las distintas fases del ciclo menstrual. Resumidamente, tendríamos dos fases: la fase folicular (FP) y la fase lútea (LP) (**Figura 2**). La primera podría a su vez subdividirse en la fase folicular temprana, en la cual hay bajos niveles de progesterona y estrógeno (unos 5 pg/ml); y la fase folicular media, en la cual los niveles de estrógeno aumentan hasta alcanzar niveles de 200-500 pg/ml. Por otro la fase lútea tiene niveles elevados tanto de progesterona como de estrógenos. En medio de estas dos fases tenemos el momento de la ovulación, que viene dada con una fuerte subida de los niveles de hormona luteinizante (LH) y una caída de los niveles de estrógeno (Chidi-Ogbolu & Baar, 2019).

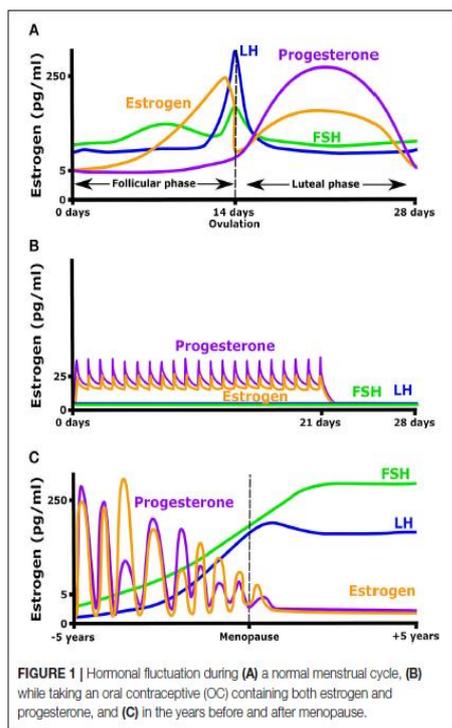


Figura 2. Gráficas representativas de la fluctuación de las hormonas del ciclo menstrual. En la gráfica A se muestra un ciclo menstrual normal; en la gráfica B, un ciclo menstrual tomando anticonceptivos orales de estrógeno y progesterona; en la gráfica C, la comparación del ciclo menstrual antes y después de la menopausia (Chidi-Ogbolu & Baar, 2019).

Conocer estas fases es importante porque, como mencioné anteriormente, hay situaciones como son la subida de los niveles de estrógeno que provocan que haya un mayor riesgo de lesión, sobre todo de tipo ligamentosa. En consecuencia, si la deportista decidiera no tomar anticonceptivos orales y mantener sus niveles de estrógenos fisiológicos, en la fase media folicular – en la cual los niveles de estrógenos aumentan hasta conseguir su pico máximo – habría que evitar entrenamientos de alto impacto, la pliometría u otro tipo de ejercicios que pudieran aumentar todavía más el riesgo lesivo.

Pero no solo hay un mayor riesgo lesivo, sino que se ha reportado que se dan muchas otras alteraciones en el organismo en los diferentes momentos del ciclo menstrual: a nivel cardiovascular, en la respiración y ventilación, el control de la temperatura, a nivel metabólico y también psicológico.

En cuanto al **sistema cardiovascular**, se ha visto que estrógeno y progesterona estimulan el sistema renina-angiotensina (sistema hormonal que regula tanto la presión arterial, como el volumen extracelular del organismo y el balance electrolítico). Estas dos hormonas sexuales actúan al final de la fase lútea y provocan la retención de líquidos en dicha fase. Esto es importante tenerlo en cuenta, ya que en la fase lútea del ciclo menstrual la hidratación debería adaptarse a esta retención de líquidos, pues afectará también al balance de sodio y potasio en el organismo y, en consecuencia, al protocolo de hidratación a seguir (Constantini et al., 2005).

A nivel **respiratorio**, se sabe que hay una relación entre las hormonas sexuales esteroideas y el control central de la respiración, afectando a neurotransmisores, quimiorreceptores periféricos y probablemente a las vías aéreas y pulmones. De hecho, la progesterona endógena parece relacionarse con una mejor ventilación y una buena respuesta al ejercicio máximo, coincidiendo esto con la fase lútea del ciclo en la cual los niveles de progesterona aumentan. Por otro lado, en la fase premenstrual se han reportado agravaciones de la respiración en mujeres asmáticas, coincidiendo esta fase con niveles mayores de estrógeno. Teniendo en cuenta esto, los entrenamientos o competiciones que tuvieran lugar en la fase lútea serían más exitosos a nivel respiratorio, comparándolos con aquellos que se realizasen en la fase folicular o premenstrual del ciclo (Devries et al., 2006).

Por otro lado, la **termorregulación** parece estar afectada también por las hormonas del ciclo menstrual. De hecho, se conoce que la progesterona tiene un efecto termogénico central, modulado por el hipotálamo. De hecho, en la fase lútea – momento en el cual la progesterona aumenta sus niveles – se reporta una temperatura corporal de 0.3°C a 0.5°C mayor que en la fase folicular del ciclo menstrual. Dicho aumento de temperatura parece deberse a un flujo sanguíneo alterado, así como un aumento del umbral de vasodilatación cutánea y también a una sudoración aumentada. Por lo tanto, en la fase lútea las mujeres tendrán una desventaja a nivel de la termorregulación y si además las condiciones ambientales son de humedad y temperatura elevada, el rendimiento deportivo caerá. Teniendo en cuenta esto, las competiciones y entrenamientos que impliquen un ambiente cálido y húmedo no deberían coincidir con la fase lútea del ciclo y, de ser así, los anticonceptivos orales podrían suponer una mejora del rendimiento. Pero, en el caso de que la

deportista decida no tomarlos, las técnicas de hidratación y de reposición de electrolitos deberían ajustarse a la pérdida de líquidos y a la sudoración aumentada en dicha fase del ciclo menstrual (Constantini et al., 2005).

También el **metabolismo** se ve afectado por las distintas fases del ciclo menstrual, aunque las investigaciones aportan a veces datos contradictorios y todavía no se puede asegurar con exactitud cómo el ciclo menstrual regula el metabolismo.

Gracias a investigación en animales y en humanos, se ha conocido que el estrógeno facilita el almacenamiento del glicógeno a nivel muscular y hepático, gracias a una mayor lipólisis muscular y a una incrementada síntesis de lípidos. Entonces, en la fase folicular antes de la ovulación en la cual los niveles de estrógeno aumentan, hay una predisposición a metabolizar ácidos grasos y a reservar el glicógeno y esto sería beneficioso para la resistencia y la ultra resistencia, en comparación con los hombres.

De todos modos, no solo el estrógeno parece jugar un papel importante, sino que la progesterona también participa y favorece que el metabolismo se decante más por las grasas que por los carbohidratos. Lo que todavía no se conoce a la perfección es justamente en qué fase se da un mayor efecto lipolítico, pues podría ser en la fase preovulatoria coincidiendo con el pico de estrógeno; o en la fase lútea, donde progesterona y estrógeno actúan conjuntamente. En cambio, se conoce que en la fase lútea se da una relativa intolerancia a la glucosa debido al papel de la progesterona que antagoniza los efectos de la insulina en tejidos extrahepáticos e incrementa la resistencia a la insulina. Esto, sobre todo, debería tenerse en cuenta a nivel de los requerimientos alimentarios de la deportista en cada momento del ciclo menstrual y, también, para aportar suplementos adecuados en cada fase. En la fase lútea, los carbohidratos deberían suponer menor proporción de la dieta, debido a esta intolerancia a la glucosa a la ligera insulinoresistencia que se puede dar; mientras que en la fase folicular hay una mayor sensibilidad a la insulina y los carbohidratos se pueden tolerar mejor. Si hablamos de deportistas de élite, en competiciones los geles o barritas energéticas utilizados deberían tener también proporciones diferentes de carbohidratos en función de la fase del ciclo menstrual en la que se encontrase la deportista (Constantini et al., 2005).

Finalmente, pero no menos importante, sería la influencia que el ciclo menstrual tiene a nivel **psicológico**. Se sabe que el estrógeno influye de manera directa en la función cerebral, ya que las neuronas tienen receptores de estrógenos en diversas áreas del cerebro. Tiene también efectos directos sobre las neuronas, tanto neuroprotectores como neurotróficas, lo cual quiere decir que provoca un efecto beneficioso a nivel neuronal. De hecho, se ha comprobado que en neuronas *in vitro*, la inoculación de estrógeno provoca protección contra el estrés oxidativo, isquemia, hipoglucemia y también el daño provocado por la proteína amiloide, relacionada esta última con la enfermedad del Alzheimer (Shepherd, 2001).

Además, tiene efectos a nivel sináptico, porque incrementa la producción de neurotransmisores como son la serotonina, dopamina y la norepinefrina e incrementa el número de receptores de estos neurotransmisores. Es muy importante sobre todo esta mayor secreción de serotonina, que es la conocida “hormona de la felicidad” y esto nos quiere decir que el estrógeno facilita que el estado de humor se mantenga elevado y actuaría como un antidepresivo natural. Por otro lado, incrementa la producción de opioides naturales y de endorfinas en el hipotálamo, provocando una menor percepción del dolor y una sensación de bienestar.

Se conoce también como un vasodilatador y antiinflamatorio natural, ya que se ha demostrado que incrementa la producción de óxido nítrico – un excelente vasodilatador natural en nuestro organismo – y de citoquinas y radicales libres que median la inflamación.

Por otro lado, se ha visto que también influye positivamente en la cognición y el reconocimiento espacial. De hecho, en la menopausia se ha observado cómo se atrofia el hipocampo y el lóbulo

parietal – áreas asociadas con la memoria y la cognición – a medida que decaen los niveles de estrógeno en el organismo. En cambio, los hombres tardan más en sufrir esta pérdida cognitiva, ya que siguen produciendo estrógenos a través de la aromatización de la testosterona (Shepherd, 2001).

Teniendo en cuenta que en la fase media folicular es en la cual se encuentran unas concentraciones mayores de estrógeno en sangre, parece ser el momento ideal para realizar unos mejores entrenamientos y competiciones. En este momento, la deportista contaría con un mayor flujo cerebral, una mayor retención de conceptos y técnicas deportivas, así como un estado antiinflamatorio que ayudaría a la recuperación y una producción de opioides y endorfinas que harían tener una percepción del esfuerzo levemente menor que en otras fases del ciclo menstrual. En cambio, en el momento de la ovulación en el cual los niveles de estrógeno caen en picado, la deportista se encontraría en desventaja para la actividad física, pues habría una mayor inflamación, menor vasodilatación y producción de endorfinas y opioides naturales, etc.

Como conclusión, los entrenamientos deberían adaptarse a las diferentes fases del ciclo menstrual de la deportista. Si decide no tomar anticonceptivos orales, hay que tener en cuenta que el momento idóneo para realizar entrenamientos de calidad es la fase media folicular. En cambio, en el momento de la ovulación deberían proponerse entrenamientos más suaves o de recuperación, para no empeorar el estado inflamatorio de la deportista en cuestión.

3. Objetivos e hipótesis

3.1. Objetivos

Como acabo de recoger en la introducción, son muchas las diferencias fisiológicas entre hombres y mujeres. La investigación ha fallado muchas veces al excluir a las mujeres de diversos estudios debido a estas diferencias, ya que las conclusiones que se obtengan no serán aplicables siempre para ambos sexos.

Como en tantos otros ámbitos, la investigación y la planificación del deporte también fallaría si no se tuviera en cuenta cómo afectan las diferencias fisiológicas al rendimiento deportivo a las mujeres.

Es por eso por lo que, en mi trabajo, pretendo conseguir dos principales objetivos:

1. Describir de forma detallada diferentes parámetros fisiológicos de mujeres deportistas, obtenidos mediante pruebas de esfuerzo máximas.
2. Comparar dichos parámetros fisiológicos entre mujeres con distintos niveles de entrenamiento.

3.2. Hipótesis

Estos objetivos se basan, a su vez, en las siguientes hipótesis:

1. Es posible y muy necesario realizar una base de datos muy completa de distintos parámetros fisiológicos obtenidos durante una prueba de esfuerzo máxima.
2. Las mujeres con un alto nivel de entrenamiento mostrarán un mayor rendimiento en las pruebas de esfuerzo deportivas realizadas, lo cual se demostrará analizando la eficiencia energética, parámetros de recuperación y valores antropométricos.

4. Metodología y sujetos

4.1. Sujetos y diseño del estudio

Este se trata de un estudio transversal observacional que analiza distintos parámetros fisiológicos durante una prueba de esfuerzo en carrera en deportistas moderada o altamente entrenadas. Esto quiere decir que no se realizará ninguna intervención en los sujetos, sino que todos ellos habrán realizado una prueba de esfuerzo en cinta, siguiendo el mismo protocolo, lugar y procedimientos.

Hay un total de 35 mujeres que practican deportes de resistencia, mayoritariamente triatlón o larga distancia en asfalto o *Trail* en el área de Barcelona. Todas las participantes deben seguir los criterios de inclusión: tienen que ser mayores de edad, no deben tener problemas cardiovasculares u otras patologías que puedan afectar a los resultados de la prueba, deben entrenar entre 3 y 5 veces por semana y no deben tomar medicación que tenga un posible efecto en los resultados de la prueba.

Lo primero que había que decidir era cuál era el criterio por el cual dividiría a mis sujetos en grupos, para luego establecer comparaciones entre ellas. La primera idea fue la de clasificarlas en función de su $VO_2\text{máx}$ y su edad, gracias a una tabla generada por la ACSM que, en función de estos dos parámetros, clasifica a hombres y mujeres en rangos de rendimiento. El problema de este criterio es que, con una muestra como la mía, tenía tres niveles de rendimiento distintos y los subgrupos que obtenía con esta tabla eran muy pequeños y los análisis estadísticos reportaban resultados muy dispares, ya que muy pocas mujeres cumplían los requisitos establecidos por la ACSM para ser consideradas como muy entrenadas.

Por esto, decidí clasificar a las deportistas en función del $VO_2\text{máx}$, sin tener en cuenta la edad de los sujetos. Obtuve la mediana del parámetro $VO_2\text{máx}$, que es **48,520** y así subdividí a mi muestra en dos grupos de mujeres teniendo en cuenta si reportaban valores por encima o por debajo de la mediana: **muy entrenadas**, siendo 18 mujeres; y **moderadamente entrenadas**, con 17 mujeres.

4.2. Aspectos éticos

El estudio respeta los principios éticos de no maleficencia, beneficencia, autonomía, justicia y confidencialidad. Además, previamente a la prueba de esfuerzo, se les entrega a los sujetos un consentimiento informado que deben firmar si están de acuerdo en que sus datos puedan ser utilizados para investigaciones clínicas.

4.3. Procedimiento del estudio

A todas se les envía antes de realizar la prueba un correo electrónico en el cual se le adjunta el protocolo de la prueba que van a realizar, además de la escala de Borg de percepción de esfuerzo (RPE) ya que necesitarán conocerla para realizar correctamente el estudio. Además, en dicho correo se les pide que durante las 48 horas previas no realicen entrenamientos de alta intensidad, para no realizar la prueba en condiciones de fatiga y así no alterar los resultados finales.

Cuando llegan al laboratorio, se les entrega un cuestionario en el cual deben introducir sus datos personales (nombre y apellidos, DNI, fecha de nacimiento, etc.), sus antecedentes lesivos y patológicos, así como antecedentes familiares de enfermedades cardiovasculares o diabetes, entre otras. Juntamente con este cuestionario, deben firmar el consentimiento informado que va adjunto.

Después, se les realiza una anamnesis en la consulta, donde se apunta cuántas veces entrena el deportista a la semana, si va a competir próximamente y cuáles son sus objetivos deportivos, así como sus marcas personales, sus sensaciones en los entrenamientos y en las competiciones y si siente alguna molestia relacionada con la práctica deportiva.

El siguiente paso es tomar la tensión en tres posiciones diferentes (tumbado, sentado y de pie) para poder estudiar si el sujeto tiene una buena respuesta cardiovascular al cambio de posición de su cuerpo y se le ausculta para detectar posibles anomalías cardíacas como soplos o arritmias.

Finalmente, ya se le tomarán las medidas antropométricas para poder así determinar su composición corporal. Este es un paso importante, ya que permite determinar el porcentaje muscular y de grasa del deportista, lo cual puede ser determinante para saber si los entrenamientos están siendo efectivos y si se mantiene o no el porcentaje muscular adecuado, que es indispensable para un buen rendimiento.

Después de realizar las medidas antropométricas, se prepara todo lo que se necesita para realizar la prueba de esfuerzo, incluyendo el electrocardiograma, la medición de lactato, el pulsómetro, etc. Cuando todo eso está listo, se comienza la prueba de esfuerzo.

4.3.1. Medidas antropométricas

En primer lugar, se deben tomar las medidas antropométricas con poca vestimenta. En el caso de los hombres, será con un pantalón corto; en de las mujeres, con pantalón y top deportivo. Así, se les puede pesar y medir de la forma más exacta posible. Teniendo los datos de su altura y su peso, se puede calcular el IMC (kg/m^2).

En segundo lugar, se procede a tomar los pliegues corporales con distintos plicómetros. Se toman 7 medidas de pliegues corporales para así obtener el porcentaje total de grasa muscular del individuo y se toman el subescapular, tricípital, abdominal, supraespinal, del muslo anterior y medial de la pierna. Así, se calcula el porcentaje de grasa corporal gracias a la ecuación de Siri.

Para calcular después el porcentaje total de masa muscular, se necesitan calcular distintos perímetros corporales: del brazo relajado y contraído, del antebrazo, muñeca, tórax, muslo y pierna. Además, también se calculan 6 diámetros: biacromial, transverso del tórax, anteroposterior del tórax, bileocrestal, húmero y fémur. Se calcula también el porcentaje de masa ósea gracias a la ecuación Rocha para poder obtener el porcentaje total de masa muscular.

4.3.2. Medidas cardiorrespiratorias

Cuando el sujeto ya ha sido medido, pesado y estudiado antropométricamente, puede prepararse ya para realizar la prueba de esfuerzo máxima. Para ello, se le coloca un electrocardiograma en la parte baja de su espalda sujeto con un cinturón, que irá sincronizado con las pantallas que son utilizadas durante la prueba. Además, llevará un pulsómetro debajo de los pectorales que también irá sincronizado con los ordenadores. Esto permite hacer un seguimiento continuo de sus pulsaciones, así como obtener finalmente un electrocardiograma y descartar anomalías cardíacas.

Justo antes de comenzar la prueba, también se realiza el testeo de la espirometría con el espirómetro puesto ya. Se le pide al sujeto que coja todo el aire que le sea posible por la nariz, que aguante un poco dicha inspiración y después lo exhale con la máxima fuerza posible. Gracias a esto, se obtienen sus valores ventilatorios máximos y permite también conocer si tiene alguna limitación en su respuesta ventilatoria o, incluso, si tiene algún problema respiratorio como asma.

Finalmente, hay que asegurarse de calibrar la temperatura ambiente, así como el analizador de gases que emplearemos durante la prueba, pues es fundamental para obtener resultados que sean reales durante todo el proceso.

Durante toda la prueba, el espirómetro (o analizador de gases) nos permitirá ir conociendo respiración por respiración distintos valores del sujeto. En primer lugar, podremos estudiar el **VO₂máx** (ml/kg/min); el **VO₂ relativo** (L/min), que tiene en cuenta el peso del deportista; el coeficiente respiratorio o **RER** (*Respiratory Exchange Ratio*), que muestra la relación entre el volumen de CO₂ producido y el O₂ consumido; y la ventilación o **VE** (L/min), fundamental para conocer cómo está intercambiando O₂ y CO₂ con el ambiente y si está realizando una buena respiración o, por el contrario, está hiperventilando durante el esfuerzo; y los valores de **FAToxmáx** y de **CHOoxmáx**, que son los valores máximos de oxidación de grasas y carbohidratos respectivamente (Thermoregulation et al., 1970).

Mientras dure todo el *test*, se irán observando tanto el electrocardiograma (por si hubiese alguna anomalía cardíaca o alguna respuesta cardiovascular que nos indicase que el sujeto debería cesar) y los datos que se van obteniendo gracias al analizador de gases. Estos datos nos permitirán ir obteniendo unos resultados aproximados de cómo está evolucionando el sujeto durante la prueba de esfuerzo.

4.3.3. Protocolo de la prueba de esfuerzo

Todos los sujetos realizan el mismo protocolo de la prueba incremental máxima. Se basa en periodos incrementales que duran 3 minutos cada uno e incrementando un 1 km/h en la cinta ergométrica cuando finaliza cada periodo, hasta llegar al máximo esfuerzo (que se correspondería con el número 20 de la escala de RPE). Seguidamente, se realiza un periodo de recuperación de 5 minutos. Es una prueba que se ha visto que permite llegar al VO₂máx del sujeto en cuestión y avalada por la ACSM (Achten et al., 2003).

Cuando vaya a llegar al final de cada estadio de tres minutos, se le preguntará al deportista qué número de la escala de Borg diría que percibe en ese mismo momento. Esto permite ir correlacionando los resultados que obtenemos del analizador de gases con la percepción del esfuerzo del deportista.

Al finalizar la prueba, durante el periodo de recuperación se continuará analizando los valores del analizador de gases, por lo tanto, el sujeto no se quitará la máscara durante este periodo. Además, se le medirá la tensión arterial para ver si tiene una buena respuesta al ejercicio y también se volverá a pesar al deportista para poder calcular su tasa de sudoración gracias a los gramos que haya perdido durante la prueba.

4.3.4. Cálculos de oxidación de grasas y carbohidratos

Una parte fundamental de la prueba, es sin duda la toma de datos de estos dos parámetros. Estos, nos permiten conocer si el perfil del deportista que tenemos delante es más lipolítico o glucolítico, lo cual ya he explicado que es determinante para pruebas de larga distancia.

Gracias al analizador de gases y a que este permite introducir fórmulas que permitan hacer cálculos automáticamente, podemos obtener cada 10 segundos los valores de oxidación de carbohidratos (**CHox**) y de grasas (**FATox**). Así, podemos obtener una media de estos parámetros durante los distintos estadios del test, lo cual nos permite determinar el máximo punto de oxidación de grasas (**Fatmáx**) y también posteriormente representar en gráficas la utilización de estos dos sustratos y conocer cuándo se da el cruce metabólico o *crossover* (Thermoregulation et al., 1970).

4.3.5. Medición de lactato

Justo antes de comenzar la prueba, se procede a medir el lactato del sujeto. Esto se realiza gracias a la toma de una muestra sanguínea del lóbulo de la oreja del deportista, que posteriormente se mide gracias a un analizador de lactato sanguíneo.

Durante la prueba, se vuelve a tomar el lactato cuando se comienza a observar que el deportista entra en su estado anabólico, lo cual se constata con su percepción de esfuerzo (alrededor de 14 o 15 nos indica que entra en anabolismo) y con los valores que observamos en la pantalla del valor RER y de la oxidación de grasas o carbohidratos.

Al finalizar la prueba, se tomará nuevamente el valor del lactato y, además, al finalizar el periodo de recuperación de 5 minutos también se volverá a medir el lactato del deportista en cuestión, para conocer su respuesta al esfuerzo.

Esto, juntamente con los valores CHox y FATox, nos permitirá conocer el perfil metabólico que tiene nuestro deportista.

4.3.6. Medición de la temperatura corporal

Previamente al inicio del test, se le coloca al sujeto un sensor de temperatura en el pectoral izquierdo. Se mantiene dicho sensor durante toda la prueba y, como con el resto de los parámetros, se van tomando los valores de la temperatura cada 10 segundos para posteriormente realizar la medida de este valor en cada estadio del test.

4.3.7. Análisis estadístico

Cuando acaba la prueba, se extraen todos los datos que se han obtenido y se obtiene un documento Excel. En dicho documento, se pueden observar los valores que se obtienen cada 10 segundos de cada estadio del test. Así, como ya comenté, se pueden ir calculando las medias de cada estadio tomando los valores finales de este e ir rellenando el informe que se le entregará y explicará al deportista.

En mi caso, todos estos datos los dispuse en Excel para crear mi propia base de datos. En ella, fui copiando todos los valores de la frecuencia cardíaca, el VO₂máx y VO₂ relativo, lactato, la RPE, el coeficiente RER, CHox y Fatox, temperatura corporal y VE. Todos estos parámetros fueron estudiados para cada sujeto de mi estudio y fueron utilizados para el análisis estadístico.

Además, calculé en función de distintos porcentajes (60%, 80% y 100%) del VO₂máx de cada deportista los valores oxidativos de carbohidratos y grasas, así como la frecuencia cardíaca. Esto lo realicé para poder comparar la eficiencia energética de las deportistas a distintas intensidades, pero teniendo en cuenta que cada mujer tiene un valor de VO₂máx diferente y respetando las diferencias interindividuales para no cometer errores al compararlas entre sí.

Así, creando esta base de datos cumpliría con mi primer objetivo del proyecto, que era generar una base de datos completa y que recoge una gran cantidad de parámetros fisiológicos de mujeres deportistas (**Anexo 1**).

5. Resultados

5.1. Análisis de la muestra

En primer lugar y para poder realizar los distintos tests estadísticos posteriormente, comprobé la normalidad de la muestra, analizando todos los parámetros representados en la tabla. Para esto, opté por realizar el test de Shapiro-Wilk que nos calcula un valor p que, si es superior al valor estadístico aceptado (0.05) nos indica que existe una normalidad en nuestra muestra, pues no descartamos la teoría nula de que hay normalidad en la muestra.

En mi caso, quería estudiar parámetros como el IMC, los porcentajes de grasa y músculo corporales, la velocidad máxima alcanzada durante la prueba, el lactato máximo y valores de la recuperación como la frecuencia cardíaca y la cifra de lactato medida tras los 5 minutos de recuperación de la prueba de esfuerzo. Como podemos ver en la **Tabla 1 del Anexo 1**, de todas estas variables, solo el porcentaje muscular y la velocidad máxima alcanzada muestran una p de la prueba de Shapiro-Wilk inferior a 0,05. Por lo tanto, estas dos variables deberán ser comparadas entre los tres grupos mediante pruebas no paramétricas.

Por otro lado, también puntué que iba a comparar la eficiencia energética y de gasto cardíaco a distintas intensidades del VO_2 máx individual de las deportistas. Mediante una simple regla de tres, calculé los valores de VO_2 máx al 60%, 80% y al 100% de cada deportista y, gracias a los documentos de Excel que se obtienen una vez finaliza la prueba de esfuerzo, pude ir anotando los valores oxidativos energéticos y la frecuencia cardíaca de cada deportista a dicha intensidad. Así, los valores reportados para cada sujeto serán muy exactos y, a mayores, no asumimos que la intensidad es la misma para cada sujeto y se tienen en cuenta las diferencias interindividuales.

También comprobé la normalidad de estos datos, para conocer si debían ser analizados mediante pruebas paramétricas o no. En este caso, como se puede ver también en la **tabla 2 del Anexo 1**, la única variable que no mostraba una distribución normal fue la de la oxidación de carbohidratos al 100% del VO_2 máx de cada deportista. Por lo tanto, el resto de las variables comentadas pueden ser analizadas mediante un t-test para muestras independientes paramétrico, mientras que el valor Chox 100% fue evaluado con la prueba de Mann-Whitney.

El criterio utilizado para subdividir a las deportistas fue el comentado anteriormente, en función de si el VO_2 máx era superior a la mediana de la muestra total o no. Así, las subdividí en dos grupos, **muy entrenadas** y **moderadamente entrenadas**, para compararlos con pruebas t-test.

5.2. Comparación de las variables fisiológicas

La primera comparación que realicé fue si el valor del **IMC** variaba entre los tres grupos de deportistas. Me pareció de utilidad, ya que en muchas ocasiones a las deportistas de alto nivel se les exige tener un IMC bajo y puede ser un criterio de seguimiento del rendimiento deportivo. Como había comprobado anteriormente la normalidad para la variable **IMC**, realicé un t-test de muestras independientes.

En este caso, se observa que el grupo élite tenía un IMC de $20,585 \pm 1,679$; el grupo de muy entrenadas, de $21,559 \pm 1,716$; y el de moderadamente entrenadas de $21,710 \pm 1,940$. Con la prueba t-test no se encontraron diferencias significativas entre los valores de IMC de los dos grupos de mujeres (**37**)= $-1,837$, $p=0,075$.

El mismo análisis lo realicé para la variable **porcentaje de grasa**. Podría ser que, a pesar de que no se observan diferencias significativas entre los dos grupos en el IMC, el porcentaje de grasa mostrase diferencias significativas entre las deportistas, ya que se elimina de la ecuación del IMC la altura.

Para la variable de **porcentaje de grasa**, sí encontré diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos (**33**)= $-3,664$, $p<0,01$. Las mujeres mayormente entrenadas mostraron una media de porcentaje de grasa de $12,667 \pm 2,076$ y las moderadamente entrenadas, de $15,936 \pm 3,127$.

Decidí seguir el mismo procedimiento para el **porcentaje muscular**. La diferencia aquí, reside en que esta variable habíamos visto que no seguía una distribución normal. Por eso, en este caso se debe realizar una prueba no paramétrica, que fue el test de Mann-Whitney. Al realizar dicha

prueba, se observó que había diferencias significativas entre los dos grupos (**253**), $p < 0,001$. Además, las medias del porcentaje de muscular fueron, para el grupo más entrenado de $43,917 \pm 2,011$; y para el moderadamente entrenado, de $38,933 \pm 10,158$.

También analicé si la **velocidad máxima** alcanzada mostraba diferencias significativas entre los tres grupos de deportistas. Esto puede ser importante, ya que los entrenamientos interválicos y de alta intensidad, no pueden ser iguales para todas las deportistas, puesto que algunas muestran una mayor capacidad de alcanzar velocidades más elevadas respecto a otras.

Como esta variable tampoco mostraba una distribución normal, nuevamente tuve que recurrir a la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. El problema es que, en este caso, no había igualdad de varianzas (que se analiza gracias a la prueba de Levene), entonces tuve que realizar la corrección con el test de Welch. El resultado fue que sí habían diferencias significativas entre ambos grupos, alcanzando una mayor velocidad las mujeres más entrenadas (**22,894**) = **5,145**, $p < 0,001$. Además, el coeficiente de Cohen d indicaba que la diferencia era importante, como se puede apreciar en la **Figura 3**.

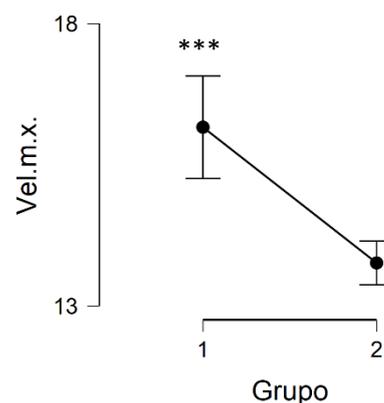
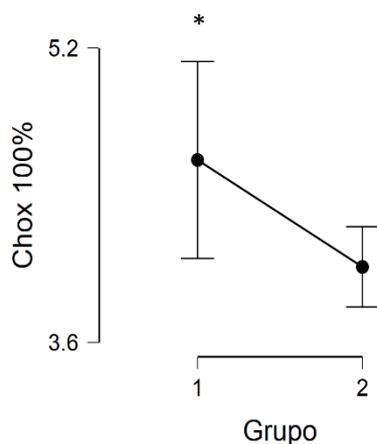


Figura 3. Gráfica en la que se pueden observar las diferencias entre los dos grupos de deportistas (Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas). ***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$

Una vez analizados estos parámetros, pasé a evaluar los parámetros de eficiencia energética que describí anteriormente. Empezando con la eficiencia de los hidratos de carbono, realicé una prueba t-test para muestras independientes para los valores al 60, 80 y 100% del $Vo_{2máx}$, como ya expliqué. Como todos estos valores seguían la normalidad, realicé para todos ellos pruebas t-test para muestras independientes.

En cuanto a los resultados para los valores al 60% del $Vo_{2máx}$ para la oxidación de carbohidratos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos (**33**) = **0,386**, $p = 0,702$. Aun así, la media de consumo de carbohidratos fue superior en el grupo más entrenado ($1,115 \pm 0,517$) respecto al moderadamente entrenado ($1,049 \pm 0,498$).

Realicé los mismos cálculos de la oxidación de carbohidratos al 80% del $Vo_{2máx}$, obteniendo nuevamente que no había diferencias significativas entre ambos grupos (**33**) = **-0,135**, $p = 0,893$. Y, además, también fue el grupo más entrenado el que obtuvo una media superior al moderadamente entrenado ($2,276 \pm 0,440$ y $2,299 \pm 0,574$ respectivamente).



Finalmente, comparé si los valores máximos de oxidación de carbohidratos eran diferentes o no. En esta ocasión, se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos $(22,425) = 2,125$, $p < 0,05$. Nuevamente, las deportistas más entrenadas alcanzaron valores oxidativos superiores $(4,592 \pm 1,076)$ respecto a las moderadamente entrenadas $(4,011 \pm 0,425)$, como se puede ver en la **Figura 4**.

Figura 4. Gráfico en el que podemos observar las diferencias entre ambos grupos de deportistas en lo que al consumo máximo de carbohidratos se refiere. Grupo 1: altamente entrenadas; grupo 2: moderadamente entrenadas ***= $p < 0,001$; **= $p < 0,01$; *= $p < 0,05$

Como también comenté, es de gran interés analizar también la eficiencia oxidativa de grasas, ya que es muy importante para pruebas de resistencia, que es la modalidad a la que se dedican las mujeres de mi muestra.

Comencé analizando la eficiencia oxidativa de grasas al 60% del $Vo_{2m\acute{a}x}$, obteniendo diferencias estadísticamente no significativas entre los dos grupos $(33) = 1,852$, $p = 0,073$. Pero la eficiencia fue superior en las más entrenadas, con un promedio de $0,499 \pm 0,132$; mientras que las moderadamente entrenadas obtuvieron una media de $0,144 \pm 0,035$.

El siguiente valor que analizar fue el porcentaje oxidativo de grasas al 80% del $Vo_{2m\acute{a}x}$. en este caso sí que se encontraron diferencias significativas entre estos dos grupos de deportistas. Las más entrenadas, tuvieron un promedio de $0,318 \pm 0,115$ de oxidación de grasas a esta intensidad; mientras que las otras deportistas tenían una media de $0,190 \pm 0,135$ de valor oxidativo, con $(33) = 3,015$, $p < 0,005$. El valor de Cohen d de 1,02 nos indica que la diferencia es además importante entre ambos grupos, como se puede apreciar en la **Figura 5**.

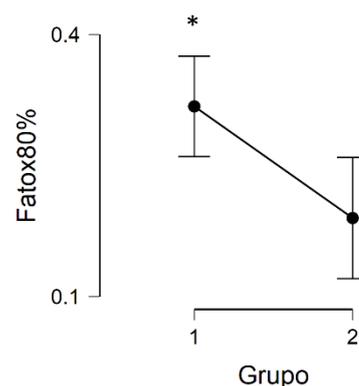


Figura 5. Gráfica en la que se observan las diferencias entre los dos grupos (Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas) en el consumo al 80% del $Vo_{2m\acute{a}x}$ de grasas. ***= $p < 0,001$; **= $p < 0,01$; *= $p < 0,05$.

Y, como anteriormente hice con los valores oxidativos de carbohidratos, comparé entre estos dos grupos los valores máximos oxidativos de grasas. En primer lugar, con un t-test para muestras independientes, no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos en cuanto al consumo de grasas al 60% del $Vo_{2m\acute{a}x}$ $(33) = 1,852$, $p = 0,073$, aunque dicho consumo fue superior en las mujeres mayormente entrenadas (con un promedio de $0,499 \pm 0,132$) respecto a las moderadamente entrenadas (con una media de consumo de $0,413 \pm 0,144$).

También indiqué que iba a estudiar la frecuencia cardíaca a estas tres intensidades, pues se sabe que con el entrenamiento es un parámetro fisiológico que se adapta y, a mayor rendimiento deportivo, menor gasto cardíaco para una misma intensidad se debería encontrar.

Comencé por la frecuencia cardíaca al 60% del $Vo_{2m\acute{a}x}$ de las deportistas y no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos $(33) = 0,398$, $p = 0,693$. Además, los promedios de las

frecuencias cardíacas fueron muy similares entre los dos grupos, con un promedio de $133,167 \pm 14,122$ las más entrenadas y de $135 \pm 13,081$ las moderadamente entrenadas.

En cuanto al gasto cardíaco al 80% de la intensidad máxima, tampoco hubo diferencias significativas **(33)=-0,536, p=0,596** y las medias de dichos valores fueron nuevamente muy similares entre los dos grupos de deportistas, con $160,944 \pm 13,480$ y $163,353 \pm 13,091$ respectivamente.

Y, por último, comparé los valores máximos alcanzados de frecuencia cardíaca en las mujeres. Nuevamente no encontré diferencias significativas entre los dos grupos **(33)=-1,133, p=0,265** y los promedios no diferían mucho tampoco entre dichas deportistas ($181,167 \pm 9,115$ y $184,824 \pm 9,970$ respectivamente).

Como indiqué, también me propuse estudiar dos parámetros de la recuperación tras el esfuerzo de la prueba, que duraba 5 minutos y en el cual medíamos parámetros como la frecuencia cardíaca y los niveles de lactato posteriores a la prueba.

En cuanto a estos niveles de lactato tras la recuperación pasiva, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de deportistas **(33)=-0,066, p=0,948** y el promedio fue superior en las mujeres moderadamente entrenadas, que alcanzaron un valor medio de $5,965 \pm 2,572$; y las muy entrenadas, de $5,917 \pm 1,655$.

En último lugar del análisis, comparé los valores de la frecuencia cardíaca tras la recuperación en los dos grupos y tampoco hubo diferencias significativas entre ellas **(33)=-0,520, p=0,607**, con un promedio ligeramente superior en las moderadamente entrenadas de $115 \pm 14,318$ respecto a las más entrenadas con una media de $112,444 \pm 14,754$.

6. Discusión

La primera variable que evalué fue el IMC, que es el indicador por excelencia que relaciona la altura con el peso, para aproximar la forma en la cual está un sujeto. Las críticas que recibe este parámetro es que, en el caso de deportistas, no tiene en cuenta la masa muscular del individuo y esto puede dar lugar a clasificar a una persona de forma incorrecta. En cambio, es interesante analizarlo pues sí es un gran indicador a nivel poblacional y epidemiológico y, además, es fácil y barato hacer uso de él (Gutin, 2018).

En mi caso, no encontré diferencias significativas entre las mujeres que tenían un mayor nivel de rendimiento y las moderadamente entrenadas, pero el IMC sí era superior en este segundo grupo de deportistas. Igualmente, como se aprecia en los promedios obtenidos en ambos grupos del IMC, los valores están entre 18.5 y 24.9, que son valores normales según la OMS.

En cambio, y coincidiendo con las críticas que puede recibir la aplicación del IMC en el mundo deportivo, sí hubo diferencias significativas entre el porcentaje de grasa de los dos grupos de mujeres. Como se puede observar, las mujeres con mayor rendimiento tenían un porcentaje de grasa muscular en torno a un 12%, mientras que las moderadamente entrenadas alcanzaban promedios de un 15%. A pesar de ser ambos porcentajes bajos, se reafirma que un mayor rendimiento da lugar a un menor porcentaje de grasa corporal.

Además, el porcentaje muscular debería aumentar a medida que disminuye el porcentaje de grasa en atletas. En este caso, volví a encontrar diferencias significativas entre dichos porcentajes entre los dos grupos y de forma notable, a mayores. Esto es interesante porque, como comenté en mi introducción, las mujeres tenemos un porcentaje muscular inferior a los hombres y esto provoca tener una menor fuerza muscular, lo cual puede afectar al rendimiento deportivo (Nikolaidis & Ingebrigtsen, 2013). Por esto, el hecho de aumentar el rendimiento deportivo puede tener efectos

importantes aumentando el porcentaje muscular corporal en mujeres y, en consecuencia, disminuir un poco la brecha entre hombres y mujeres en lo que a fuerza se refiere.

Después, al analizar la velocidad máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo en las diferentes deportistas, me encontré con que había diferencias significativas entre ambos grupos y, además, fueron diferencias importantes. Esto es fundamental para poder orientar los entrenamientos de potencia aeróbica, pues las series que realicen las mujeres del grupo más entrenado serán a mayor velocidad que las del grupo moderadamente entrenado. Y, como comenté anteriormente, las mujeres tenemos una menor longitud de las extremidades inferiores respecto a los hombres (Alexander, 1996), por lo tanto es interesante aumentar el rendimiento deportivo para poder contrarrestar esta ligera desventaja en la velocidad.

En cuanto a los valores oxidativos a las distintas intensidades de trabajo, al 60% del VO_{2max} no encontré diferencias significativas entre el consumo de carbohidratos entre ambos grupos. Esto quiere decir que, a intensidades medias-bajas, no difiere mucho este consumo de carbohidratos, aunque haya diferencias en el rendimiento deportivo. En cambio, al 80% y al 100% de la intensidad de la prueba, sí hubo diferencias significativas y esto nos indica que, a intensidades más elevadas, las mujeres más entrenadas son capaces de oxidar más carbohidratos que las moderadamente entrenadas y esto es fundamental ya que a altas intensidades los carbohidratos serán el combustible energético esencial. Además, si tenemos en cuenta que el perfil oxidativo de las mujeres es más lipolítico que glucolítico (Devries et al., 2006), observamos cómo un aumento del rendimiento mejora este perfil oxidativo y las mujeres más entrenadas son más capaces de utilizar distintos sustratos energéticos en función de la intensidad de trabajo, lo cual es fundamental.

Después, uno de los aspectos más importantes a analizar era la oxidación de grasa en estas deportistas, pues como acabo de comentar las mujeres tenemos un perfil más lipolítico y, a mayores, en deportes de largas distancias se conoce que las mujeres tienen una ventaja al oxidar mayores cantidades de ácidos grasos, que permiten aguantar a ritmos bajos-moderados durante mayor tiempo.

En este caso, no encontré diferencias significativas al 60% y al 100% del VO_{2max} entre los dos grupos de deportistas. Esto nos indica que, a pesar de tener diferencias de rendimiento deportivo, a intensidades muy bajas las mujeres fueron muy parecidas en lo que a la oxidación de grasa se refiere. Aunque no hubo diferencias significativas, a la intensidad del 60% el promedio de las mujeres más entrenadas fue bastante superior al alcanzado por las moderadamente entrenadas, lo cual nos indica que hay una tendencia más lipolítica a bajas intensidades si hay un mayor rendimiento. En cambio, para los valores máximos no hubo una diferencia tan importante en lo que a los promedios se refiere.

Pero, al comparar los resultados obtenidos al 80% de la intensidad de la prueba, sí hubo diferencias significativas y, a mayores, fueron diferencias notables. Esto es interesante ya que, a intensidades moderadas-altas sí hay un mayor uso de las grasas como sustrato energético a mayor rendimiento y esto es muy beneficioso, pues se estarían guardando las reservas de glucógeno para momentos de mayor intensidad y se necesitaría en menor medida un aporte extra de glucosa durante una carrera. A mayores, este resultado concuerda con los conocimientos que se tiene sobre la mayor oxidación de ácidos grasos en mujeres premonopáusicas, comparadas con los hombres (Purdom et al., 2018).

Lo último en estudiar fueron dos parámetros recogidos durante los cinco minutos de recuperación: el lactato en sangre y la frecuencia cardíaca de recuperación. Es fundamental estudiar la recuperación tras un esfuerzo deportivo, ya que condiciona la siguiente sesión de entrenamiento, la nutrición requerida y el estado de fatiga del sujeto. En ocasiones, un parámetro utilizado es la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca, pues se conoce que durante el

ejercicio hay una activación del sistema nervioso simpático que provoca un aumento de la frecuencia cardíaca para que la sangre llegue a todos los músculos necesarios para la actividad física y hay también una menor variabilidad cardíaca. Se ha observado que, en atletas más entrenados, la recuperación es más rápida que en atletas moderadamente entrenados, pudiendo ser la recuperación rápida de tan solo 120 minutos a los niveles basales (Seiler et al., 2007).

En mi caso, no encontré diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de deportistas en cuanto a la frecuencia cardíaca se refiere, aunque la media de la frecuencia cardíaca de las mujeres más entrenadas fue ligeramente inferior a las otras deportistas. Seguramente, la diferencia de rendimiento deportivo no fue suficiente como para encontrar diferencias significativas entre los dos grupos en este parámetro, pues todas las deportistas tenían un buen nivel de entrenamiento y las adaptaciones cardiovasculares son complejas y, además, están condicionadas parcialmente por el estado hormonal de la deportista.

Por otro lado, también analicé los niveles de lactato tomados tras los cinco minutos de reposo. El lactato sanguíneo se ha convertido en un método muy común para conocer el estado de fatiga de un deportista, sobre todo tras esfuerzos de moderada a alta intensidad, ya que se supera el umbral láctico al alcanzar una intensidad elevada y el músculo esquelético deja de consumirlo y producirlo de forma equivalente (Adeva-Andany et al., 2014).

Como reporté en los resultados, las diferencias no fueron significativas y, a mayores, fueron muy similares con promedios cercanos al 6 mmol/l. Estos valores entran dentro de la normalidad tras un esfuerzo máximo, pues durante un ejercicio de alta intensidad el sistema anaeróbico láctico cobra mucha importancia y la lactato deshidrogenasa convierte el piruvato en lactato de forma activa, provocando este cúmulo de lactato sanguíneo (Adeva-Andany et al., 2014). Además, al ser una recuperación pasiva, los niveles de lactato no se ven más atenuados que si se realizase una recuperación activa, pues se conoce que este último método de recuperación provoca un menor cúmulo de lactato sanguíneo y una mejor recuperación (Chatel et al., 2016).

A todos estos parámetros habría que sumarles el condicionante del estado hormonal de cada deportista que, como ya indiqué en mi introducción, es muy importante en la respuesta fisiológica al ejercicio. Condiciona notablemente los valores de consumo energético de ácidos grasos y carbohidratos, provocando una mayor tolerancia a los carbohidratos en la fase folicular (Constantini et al., 2005); así como la respuesta cardiovascular y respiratoria de la deportista en la fase lútea (Devries, 2016); una mejor predisposición psicológica al esfuerzo en la fase folicular, así como un mayor efecto neuroprotector e inflamatorio durante dicha fase (Shepherd, 2001).

Por lo tanto, al no tener en cuenta la fase del ciclo menstrual en el que se encuentra dicha deportista, hemos obviado las influencias que las hormonas tienen en el rendimiento deportivo, por eso los resultados deben ser interpretados teniendo en cuenta esta limitación del estudio.

Finalmente, con todos estos datos fisiológicos obtenidos en numerosas pruebas de esfuerzo, podemos llegar a la conclusión de que un mayor nivel de entrenamiento – que se reporta con unos valores mayores de VO_2 máx – conlleva a mejoras fisiológicas muy importantes a la hora de una competición. Aunque las mujeres somos más lipolíticas que los hombres, un buen nivel de entrenamiento puede provocar que esta ventaja se acentúe y que, en deportes de resistencia, nos otorgue un beneficio considerable y así se pueda ir disminuyendo la brecha que hay entre hombres y mujeres deportistas.

Por otro lado, el hecho de tener un mayor rendimiento deportivo, conlleva también tener un estado de forma mejor, lo que se demuestra sobre todo en un menor porcentaje de grasa corporal y, lo más importante, en un mayor porcentaje muscular. Es fundamental que las mujeres construyan tejido muscular y lo fortalezcan con trabajo de fuerza, pues es sabido que, tanto para rendimiento deportivo como para salud general, tener más masa muscular es beneficioso. Y, aunque no sea lo

fundamental para deportes de resistencia como los que realizaban las mujeres de mi estudio, sí es importante para gozar de una mejor salud y para prevenir lesiones y problemas como la sarcopenia.

Por último, al estudiar la recuperación, no encontré diferencias significativas en los dos parámetros que estudié. Se conoce al lactato como un potente marcador de la fatiga de un deportista tras una sesión de entrenamiento, así como la frecuencia cardíaca de recuperación. En estas deportistas, las diferencias fueron muy poco notables en estos parámetros, lo cual nos indica que seguramente se necesite un mayor nivel de entrenamiento o una mayor diferencia de éste para poder observar diferencias significativas en estos parámetros. Habría sido de gran utilidad medir la variabilidad de la frecuencia cardíaca que, como ya puntué, se ha convertido actualmente en un parámetro muy importante para conocer la recuperación y el estado de fatiga de un deportista, junto con parámetros como la RPE.

7. Conclusión

Para concluir, se puede afirmar que en mujeres deportistas de resistencia el hecho de tener un mayor $VO_2\text{máx}$ y, en consecuencia, un mayor rendimiento deportivo, provoca una mejor respuesta fisiológica al esfuerzo.

Esto se reporta gracias a una mayor oxidación de carbohidratos y de ácidos grasos al 80% de la intensidad del esfuerzo, lo que indica que, a intensidades moderadas-altas, las deportistas con mayores niveles de $VO_2\text{máx}$ son más eficientes energéticamente que las moderadamente entrenadas. Eso supone una clara ventaja a la hora de entrenar e incluso de competir, pues tendrán mayores reservas energéticas durante el ejercicio físico y las estrategias nutricionales serán en consecuencia distintas.

Por otro lado, al tener un mayor rendimiento alcanzan velocidades máximas superiores, lo cual nos quiere decir que tienen una potencia aeróbica mayor y que los entrenamientos de series podrán ser más intensos y de mayor calidad que los que realizarán las mujeres moderadamente entrenadas. Esto es importante, pues las mujeres alcanzamos velocidades inferiores a los hombres y esto provoca que las marcas tanto de velocistas como de fondistas mujeres sean peores que las de deportistas hombres.

Además de esto, también un mayor $VO_2\text{máx}$ se puede relacionar con un mejor estado de forma, que se reporta con un menor porcentaje de grasa y un mayor porcentaje muscular, de forma significativa. Esto es muy relevante en deportes de resistencia, donde el hecho de tener un menor porcentaje de grasa supone una gran ayuda para alcanzar mayores velocidades y supone además un menor esfuerzo biomecánico, porque la masa corporal que se mueve es menor.

Por último, en cuanto a la recuperación, no se observaron diferencias significativas aunque sí hubo una ligera mejoría en las mujeres más entrenadas en cuanto a los niveles de lactato sanguíneo y de frecuencia cardíaca. Lo más probable es que la diferencia de rendimiento deportivo no fuera suficiente como para ver estas adaptaciones cardiovasculares y metabólicas, que son más complejas y no siempre se aprecian. Un punto importante sería la falta de medición de la variabilidad cardíaca, que es un parámetro cada vez más reconocido para estudiar el estado de fatiga de un deportista y el estado de su sistema nervioso.

Es necesario realizar estudios de este tipo, para conocer de forma más exacta la respuesta fisiológica de una mujer a la actividad física, pues condiciona los entrenamientos y la nutrición, entre otras cosas. No se debería aplicar el mismo entrenamiento a mujeres y hombres de niveles parecidos de rendimiento, pues como he ido explicando a lo largo de mi trabajo son muchas las

diferencias fisiológicas y anatómicas las que provocan que, aun aplicando el mismo entrenamiento, provocan que los resultados no sean los mismos en ambos sexos.

Además, debería establecerse como requisito en pruebas de rendimiento e incluso en los entrenamientos y competiciones, el tener en cuenta el estado hormonal en el que se encuentra la deportista en cuestión, pues tiene una gran influencia en la fisiología de las deportistas y puede dar lugar a sacar conclusiones no del todo correctas.

8. Bibliografía

- Achten, J., Venables, M. C., & Jeukendrup, A. E. (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 52(6), 747–752. [https://doi.org/10.1016/S0026-0495\(03\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0026-0495(03)00068-4)
- Adeva-Andany, M., López-Ojén, M., Funcasta-Calderón, R., Ameneiros-Rodríguez, E., Donapetry-García, C., Vila-Altesor, M., & Rodríguez-Seijas, J. (2014). Comprehensive review on lactate metabolism in human health. *Mitochondrion*, 17, 76–100. <https://doi.org/10.1016/j.mito.2014.05.007>
- Alexander, M. J. L. (1996). Comparison of Biomechanical Aspects of Performance in Male and Female Athletes. *15 International Symposium on Biomechanics in Sports*, 25–44. <https://doi.org/10.1002/2014JA020545>.Received
- Arendt, E. A. (1994). Orthopaedic issues for active and athletic women. *Clinics in Sports Medicine*, 13(2), 483–503.
- Chatel, B., Bret, C., Edouard, P., Oullion, R., Freund, H., & Messonnier, L. A. (2016). Lactate recovery kinetics in response to high-intensity exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 116(8), 1455–1465. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3420-0>
- Chidi-Ogbolu, N., & Baar, K. (2019). Effect of estrogen on musculoskeletal performance and injury risk. *Frontiers in Physiology*, 10(JAN). <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01834>
- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5), 357–360. <https://doi.org/10.1249/00005768-198025000-00010>
- Constantini, N. W., Dubnov, G., & Lebrun, C. M. (2005). The menstrual cycle and sport performance. *Clinics in Sports Medicine*, 24(2), 51–82. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2005.01.003>
- Devries, M. C. (2016). Sex-based differences in endurance exercise muscle metabolism: Impact on exercise and nutritional strategies to optimize health and performance in women. *Experimental Physiology*, 101(2), 243–249. <https://doi.org/10.1113/EP085369>
- Devries, M. C., Hamadeh, M. J., Phillips, S. M., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Menstrual cycle phase and sex influence muscle glycogen utilization and glucose turnover during moderate-intensity endurance exercise. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 291(4), 1120–1128. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00700.2005>
- Devries, M. C., Lowther, S. A., Glover, A. W., Hamadeh, M. J., & Tarnopolsky, M. A. (2007). IMCL area density, but not IMCL utilization, is higher in women during moderate-intensity endurance exercise, compared with men. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 293(6), 2336–2342. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00510.2007>
- Diaz-Canestro, C., & Montero, D. (2019). Sex Dimorphism of VO₂max Trainability: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 49(12), 1949–1956. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01180-z>
- Dominelli, P. B., Guenette, J. A., Wilkie, S. S., Foster, G. E., & Sheel, A. W. (2011). Determinants of expiratory flow limitation in healthy women during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1666–1674. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318214679d>

- Eng, J. J., & Pierrynowski, M. R. (1993). Evaluation of Soft Foot Orthotics in the Treatment of Patellofemoral Pain Syndrome. *Physical Therapy*, 73(2), 62–68. <https://doi.org/10.1093/ptj/73.2.62>
- Enns, D. L., & Tiidus, P. M. (2010). The influence of estrogen on skeletal muscle: Sex matters. *Sports Medicine*, 40(1), 41–58. <https://doi.org/10.2165/11319760-000000000-00000>
- Esfuerzo, D. E. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (n.d.). *Y Del Deporte F Isiología*.
- Feldman, S., Ammar, W., Lo, K., Trepman, E., Van Zuylen, M., & Etzioni, O. (2019). Quantifying Sex Bias in Clinical Studies at Scale with Automated Data Extraction. *JAMA Network Open*, 2(7), 1–14. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.6700>
- Gallagher, D., & Heymsfield, S. B. (1998). Muscle distribution: Variations with body weight, gender, and age. *Applied Radiation and Isotopes*, 49(5–6), 733–734. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(97\)00096-1](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(97)00096-1)
- Guenette, J. A., Witt, J. D., McKenzie, D. C., Road, J. D., & Sheel, A. W. (2007). Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women. *Journal of Physiology*, 581(3), 1309–1322. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.126466>
- Gutin, I. (2018). In BMI we trust: Reframing the body mass index as a measure of health. *Social Theory and Health*, 16(3), 256–271. <https://doi.org/10.1057/s41285-017-0055-0>
- Handelsman, D. J. (n.d.). Chapter 138 – Androgen Physiology, Pharmacology, and Abuse. In *Endocrinology: Adult & Pediatric* (Seventh Ed). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-18907-1.00138-4>
- Handelsman, D. J. (2017). Sex differences in athletic performance emerge coinciding with the onset of male puberty. *Clinical Endocrinology*, 87(1), 68–72. <https://doi.org/10.1111/cen.13350>
- Handelsman, D. J., Hirschberg, A. L., & Bermon, S. (2018). Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocrine Reviews*, 39(5), 803–829. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00020>
- Hansen, M. (2018). Female hormones: Do they influence muscle and tendon protein metabolism? *Proceedings of the Nutrition Society*, 77(1), 32–41. <https://doi.org/10.1017/S0029665117001951>
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z. M., & Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 81–88. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.81>
- Lee, D. chul, Artero, E. G., Sui, X., & Blair, S. N. (2010). Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. *Journal of Psychopharmacology (Oxford, England)*, 24(4 Suppl), 27–35. <https://doi.org/10.1177/1359786810382057>
- Mitchell, R. A., Schaeffer, M. R., Ramsook, A. H., Wilkie, S. S., & Guenette, J. A. (2018). Sex differences in respiratory muscle activation patterns during high-intensity exercise in healthy humans. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 247(July 2017), 57–60. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2017.09.002>
- Neves, E. B., Salamunes, A. C. C., de Oliveira, R. M., & Stadnik, A. M. W. (2017). Effect of body fat and gender on body temperature distribution. *Journal of Thermal Biology*, 70(October), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.10.017>
- Nikolaidis, P. T., & Ingebrigtsen, J. (2013). The relationship between body mass index and physical fitness in adolescent and adult male team handball players. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 57(4), 361–371.

- Purdom, T., Kravitz, L., Dokladny, K., & Mermier, C. (2018). Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0207-1>
- Ruiz-Argüelles, G. J. (2014). *Fundamentos de hematología / Guillermo J. Ruiz Argüelles, Guillermo J. Ruiz Delgado*. Médica Panamericana S.A. de C.V.,. http://cercabib.ub.edu/iii/encore/record/C__Rb2205210__Sfundamentos de hematologia__Orightresult__U__X7?lang=cat
- Saunders P.U., Pyne D.B., Telford R.D., & Hawley J.A. (2004). Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465–485. <http://www.ingentaconnect.com/content/adis/smd/2004/00000034/00000007/art00005>
- Schorr, M., Dichtel, L. E., Gerweck, A. V., Valera, R. D., Torriani, M., Miller, K. K., & Bredella, M. A. (2018). Sex differences in body composition and association with cardiometabolic risk. *Biology of Sex Differences*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13293-018-0189-3>
- Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1366–1373. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060f17d>
- Sharma, H. B., & Kailashiya, J. (2016). Gender difference in aerobic capacity and the contribution by body composition and haemoglobin concentration: A study in young Indian National hockey players. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(11), CC09-CC13. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/20873.8831>
- Shepherd, J. E. (2001). Effects of estrogen on cognition mood, and degenerative brain diseases. *Journal of the American Pharmaceutical Association (Washington, D.C. : 1996)*, 41(2), 221–228. [https://doi.org/10.1016/S1086-5802\(16\)31233-5](https://doi.org/10.1016/S1086-5802(16)31233-5)
- Thermoregulation, T., Gal, J., & Blanquerna, D. (1970). Doctoral thesis. *Journal of Engineering Mathematics*, 4(2), 186. <https://doi.org/10.1007/BF01535092>
- Thibault, V., Guillaume, M., Berthelot, G., El Helou, N., Schaal, K., Quinquis, L., Nassif, H., Tafflet, M., Escolano, S., Hermine, O., & Toussaint, J. F. (2010). Women and men in sport performance: The gender gap has not evolved since 1983. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(2), 214–223.
- Wallach, J. D., Sullivan, P. G., Trepanowski, J. F., Steyerberg, E. W., & Ioannidis, J. P. A. (2016). Sex based subgroup differences in randomized controlled trials: Empirical evidence from Cochrane meta-analyses. *BMJ (Online)*, 355. <https://doi.org/10.1136/bmj.i5826>

ANEXO 1. TABLAS.

Descriptive Statistics

	IMC	%M.sculo	%Grasa	Vel.m.x.	FC_Rec	Lactato_Rec
Valid	35	35	35	35	35	35
Missing	0	0	0	0	0	0
Mean	21.131	41.496	14.255	15.000	113.686	5.940
Std. Error of Mean	0.317	1.276	0.521	0.312	2.432	0.358
Std. Deviation	1.873	7.548	3.083	1.847	14.387	2.118
Shapiro-Wilk	0.983	0.446	0.947	0.864	0.979	0.914
P-value of Shapiro-Wilk	0.838	< .001	0.092	< .001	0.724	0.009
Minimum	17.540	0.330	8.240	13.000	84.000	3.100
Maximum	24.920	48.270	22.970	20.000	140.000	12.600

Tabla 1. Tabla que recoge los datos descriptivos de las variables IMC, porcentaje muscular, porcentaje grasa corporal, velocidad máxima, frecuencia cardíaca de recuperación y el lactato en sangre en recuperación. Con el *p-valor* de Shapiro-Wilk, se comprueba si estos parámetros de la muestra siguen la normalidad o no.

Descriptive Statistics

	Chox 60%	Chox 80%	Chox 100%	Fatox60%	Fatox80%	Fatox100%	FC 60%	FC 80%	FC 100%
Valid	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	1.083	2.287	4.309	0.457	0.256	0.504	134.057	162.114	182.943
Std. Error of Mean	0.085	0.085	0.146	0.024	0.024	0.019	2.275	2.223	1.619
Std. Deviation	0.501	0.502	0.866	0.143	0.139	0.113	13.458	13.152	9.579
Shapiro-Wilk	0.978	0.931	0.828	0.947	0.982	0.984	0.966	0.983	0.989
P-value of Shapiro-Wilk	0.704	0.029	< .001	0.094	0.826	0.873	0.341	0.843	0.970
Minimum	0.050	1.550	3.350	0.000	0.000	0.290	111.000	126.000	160.000
Maximum	2.010	3.460	7.030	0.730	0.580	0.760	158.000	190.000	205.000

Tabla 2. Tabla que recoge los datos descriptivos de las variables oxidativas de carbohidratos y ácidos grasos al 60, 80 y 100% del Vo2máx de cada deportista, así como los valores de la frecuencia cardíaca de cada deportista a dicha intensidad. El *p-valor* de Shapiro-Wilk nos sirve para conocer si los datos de dichos parámetros en nuestra muestra siguen la normalidad o no.

ANEXO 2. GRÁFICAS

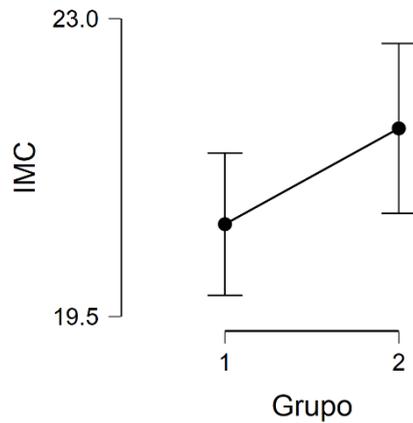


Figura 6. Gráfico en el que se ven las diferencias entre ambos grupos en el parámetro IMC. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

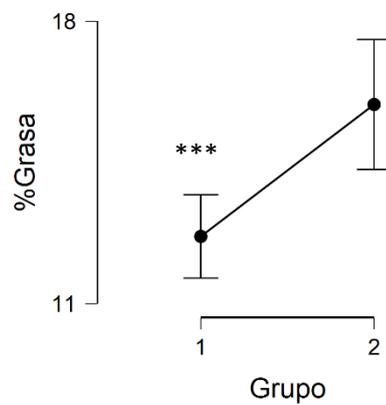


Figura 7. Gráfico en el que se aprecian las diferencias significativas entre el porcentaje de grasa de ambos grupos de deportistas. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas. ***= $p < 0,001$.

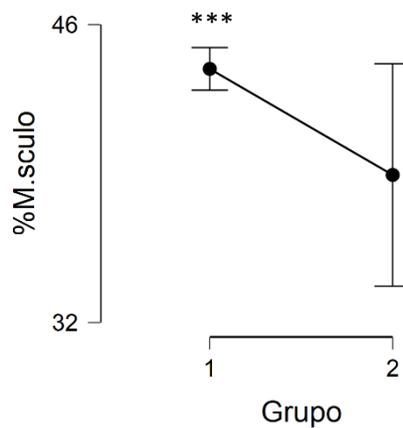


Figura 8. Gráfico en el que se observan las diferencias entre el porcentaje muscular de los dos grupos de mujeres. Se observa que el grupo 2 de moderadamente entrenadas no muestra una distribución normal de los datos. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas. ***= $p < 0,001$.

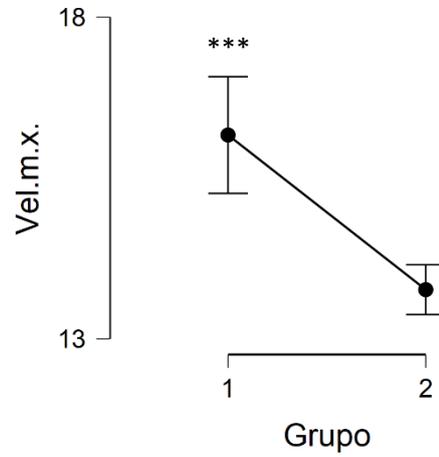


Figura 8. Gráfica en la que se comparan las velocidades máximas alcanzadas entre los dos grupos de deportistas, significativas en este caso dichas diferencias. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas. ***= $p < 0,001$.

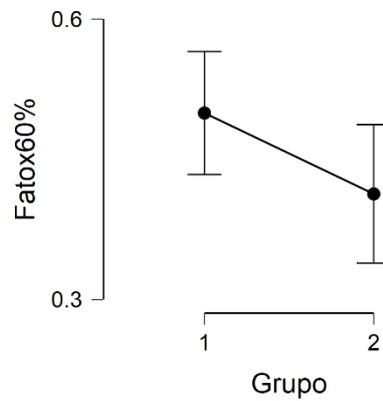


Figura 9. Gráfico en el que se observan las diferencias de consumo energético de grasas al 60% del $Vo_{2máx}$. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

*

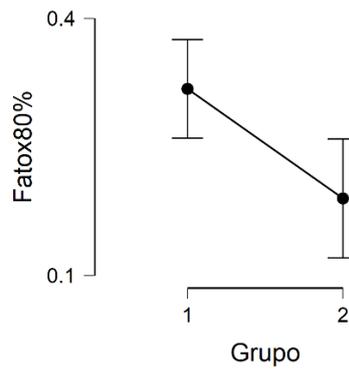


Figura 10. Gráfica en la que se reportan las diferencias significativas entre el consumo de grasas al 80% de intensidad entre ambos grupos. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas. ***= $p < 0,001$; **= $p < 0,01$; *= $p < 0,05$.

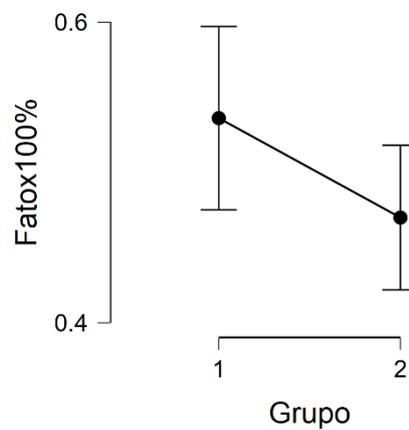


Figura 11. Gráfico en el que se comparan los consumos energéticos de grasas máximos entre los dos grupos, en este caso no hay diferencias significativas. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

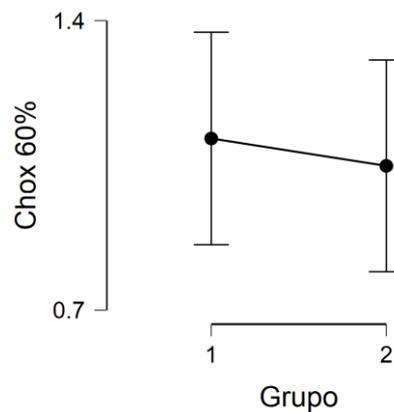


Figura 12. Gráfico en el que no se observan diferencias significativas entre los consumos de carbohidratos al 60% del $Vo_{2máx}$ entre ambos grupos. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

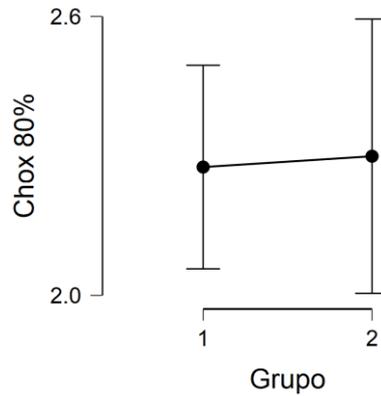


Figura 13. Gráfica en la que no se observan diferencias significativas entre los consumos de carbohidratos al 80% de VO₂máx entre ambos grupos. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

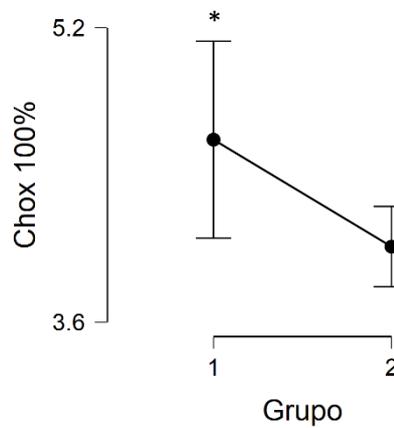


Figura 14. Gráfico en el que sí se observan diferencias significativas entre los dos grupos de deportistas en el consumo máximo de carbohidratos. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas. ***= $p < 0,001$; **= $p < 0,01$; *= $p < 0,05$.

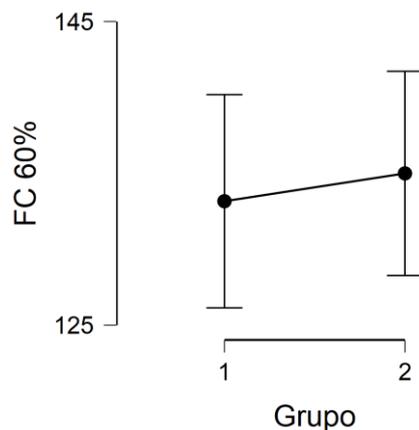


Figura 15. Gráfica en la que se ve que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en la frecuencia cardíaca al 60% del Vo₂máx. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

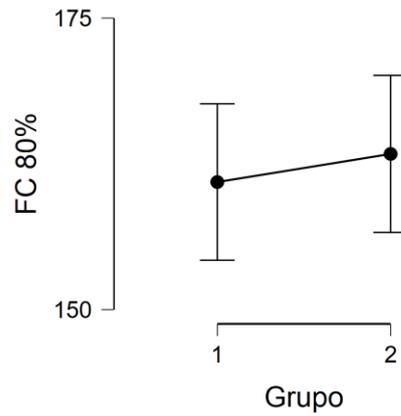


Figura 16. Gráfico en el que se analiza la comparación de la frecuencia cardíaca al 80% de la intensidad entre los dos grupos de mujeres, que no son significativas en este caso. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

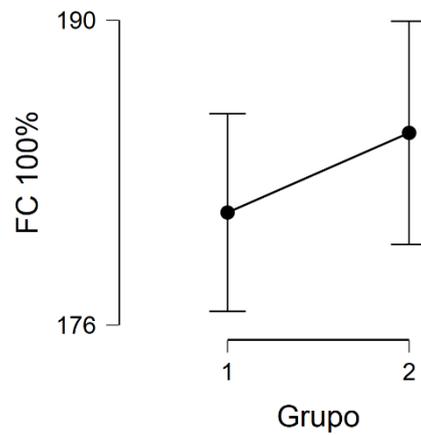


Figura 17. Gráfica en la que se comparan los valores máximos de frecuencia cardíaca de los dos grupos, sin obtener resultados significativos. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

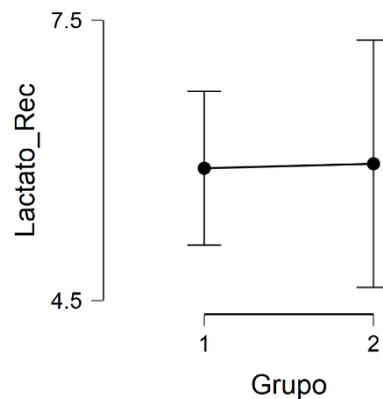


Figura 18. Gráfico en el que se reportan las diferencias que no son significativas en el parámetro de recuperación de lactato sanguíneo. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.

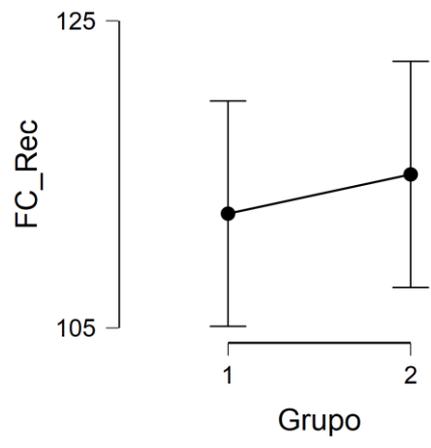


Figura 19. Gráfica en la que se aprecia que no hay diferencias significativas entre los dos grupos en la frecuencia cardíaca del periodo de recuperación. Grupo 1: altamente entrenadas; Grupo 2: moderadamente entrenadas.