

INFLUENCIA DEL EMBARAZO EN LA FISIOLOGÍA DE LA DEPORTISTA ÉLITE: UNA REVISIÓN NARRATIVA

THE INFLUENCE OF PREGNANCY ON THE PHYSIOLOGY OF ELITE SPORTSWOMEN: A NARRATIVE REVIEW

Recibido el 18 de octubre de 2023 / Aceptado el 17 de abril de 2024 / DOI: 10.24310/riccafd.13.1.2024.17780
Correspondencia: Ana Fernanda Torres Santos. anafertspro@gmail.com

Torres-Santos, AF^{1BCF}; Vega Ávila, GC^{2ABC}; García-Garro, PA^{3ABC}

1 Facultad de Educación a Distancia y Virtual, Institución Universitaria Antonio José Camacho, Colombia, anafertspro@gmail.com

2 Facultad de Educación a Distancia y Virtual, Institución Universitaria Antonio José Camacho, Colombia, gcvega@profesores.uniajc.edu.co

3 Facultad de Educación y Pedagogía. Universidad del Valle - Seccional Palmira, drapalexandragarcia@gmail.com

Responsabilidades

^ADiseño de la investigación, ^BRecolector de datos, ^CRedactor del trabajo, ^DTratamiento estadístico, ^EApoyo económico; ^FIdea original y coordinador de toda la investigación.

■ RESUMEN

El objetivo de esta revisión narrativa es determinar la influencia del embarazo en la fisiología de la mujer deportista élite. Se tuvo en cuenta la revisión de artículos científicos, investigaciones aplicadas y literatura que proporcionará información sobre los cambios cardiovasculares, respiratorios, musculoesqueléticos y endocrinos de la deportista élite gestante concluyendo que la investigación en las deportistas élite embarazadas es aún poco estudiado, siendo conveniente conocer a profundidad las adaptaciones al deporte élite y al embarazo en la fisiología femenina y su influencia en el rendimiento deportivo, siendo necesario ampliar con investigaciones futuras.

■ PALABRAS CLAVE

Embarazo, atletas élite, rendimiento deportivo, cambios fisiológicos, embarazadas.



■ ABSTRACT

The aim of this narrative review is to determine the influence of pregnancy on the physiology of the elite female athlete. The review of scientific articles, applied research and literature that will provide information on cardiovascular, respiratory, musculoskeletal and endocrine changes in pregnant elite athletes was taken into account, concluding that research on pregnant elite athletes is still little studied, being convenient to know in depth the adaptations to elite sport and pregnancy in female physiology and its influence on sports performance, being necessary to expand with future research.

■ KEY WORDS

Pregnancy, elite athletes, sports performance, physiological changes, pregnant women.

■ INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la participación de las mujeres en el deporte de alto rendimiento ha ido en aumento y poco a poco ha recibido más apoyo (1), por ejemplo, en 2021, el Congreso de la República y el Ministerio del Deporte de Colombia firmaron el “Pacto por la Equidad para las Mujeres en el Deporte” (2) y para 2022, ONU Mujeres junto con el Ministerio del Deporte presentaron los primeros “Lineamientos de Política Pública para trabajar por la Equidad de Género en el Deporte, Actividad Física, Recreación y Tiempo Libre” (3), Es por este compromiso que muchas mujeres deportistas han combinado las exigencias del entrenamiento con la maternidad (4, 5), sin embargo, lograr un equilibrio entre estas tareas no es fácil, ya que el entrenamiento implica el uso de un alto volumen de tiempo, por ello, las deportistas de élite dedican toda su vida al deporte convirtiéndolo en su principal profesión (6). Según Moreno et al. (2017) “los deportistas de élite han alcanzado un alto nivel de profesionalidad” y dependiendo de la disciplina deportiva, superan las 40 horas semanales de entrenamiento durante aproximadamente 10 años de su vida.

La literatura muestra que en la práctica de deportes de alto rendimiento, el organismo de la atleta presenta cambios fisiológicos propios del periodo gestacional, su gasto cardíaco aumenta (7), la demanda miocárdica de oxígeno aumenta debido a la dilatación e hipertrofia miocárdica, y el retorno venoso de los miembros inferiores produce taquicardia en compensación de este proceso (8), sin embargo, la información sobre las implicaciones directas de los cambios fisiológicos en atletas de élite embarazadas es escasa (9).



Así, las deportistas de élite optan por considerar y/o planificar sus embarazos durante las temporadas de entrenamiento o competición, ya que su máximo potencial competitivo es durante los veinte y treinta años, y esto coincide con su máxima capacidad reproductiva (10, 11). Asimismo, durante el embarazo se producen cambios anatómicos como el aumento de peso, cambios en la zona pélvica (12), hiperlordosis lumbar (13) que modifican su postura y centro de gravedad (14-16); y cambios fisiológicos producidos por el embarazo como aumento del gasto cardíaco en reposo, hipertrofia miocárdica, aumento de la demanda de oxígeno, aumento del consumo de oxígeno en reposo, aumento del volumen sanguíneo y aumento del almacenamiento de glucógeno muscular (17), por lo que se recomienda realizar cambios en el entrenamiento según las necesidades de cada deportista (18), lo que puede poner en peligro los resultados deportivos (16).

En los últimos años, el número de atletas de élite embarazadas que continúan su entrenamiento y participan en grandes competiciones como mundiales y olimpiadas, ha aumentado considerablemente (11, 19), y durante este periodo se deben tener en cuenta los cambios en la anatomía y fisiología de la deportista para mantener el rendimiento deportivo (20), sin embargo, no existe mucha información sobre el embarazo de las atletas de elite (9), por lo tanto, no se dispone de información sobre cómo esta atleta de elite debe continuar su entrenamiento, sin poner en riesgo su salud o la del feto (21), por esta razón en esta revisión narrativa pretendemos determinar la influencia del embarazo en la fisiología de la atleta femenina de elite.

Es por esto por lo que, a lo largo de su vida, la mujer presenta cambios relacionados con los procesos de maduración y desarrollo biológico (22). Así, varios aspectos de la fisiología de la mujer dependen de cambios hormonales ligados al ciclo menstrual (23, 24). Otro momento relevante para la mujer es el periodo de gestación, que es un estado adaptativo y transitorio de la mujer que posibilita el desarrollo de un embrión en su útero; este proceso modifica casi todos los sistemas corporales para mantener la homeostasis materno-fetal (25). Estos cambios se analizarán con más detalle en las secciones siguientes.

Cambios cardiovasculares y hemodinámicos

Los valores normales de Frecuencia Cardíaca en Reposo (FCR) se sitúan en el rango de 78-82 lpm, generando un gasto cardíaco (GC) medio de 4,5 L/min (26). Por otro lado, una deportista no de élite puede alcanzar una frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) de 195 lpm con un GC de 22 L/min durante la actividad física (17). En cuanto a las deportistas de élite, la FC_{máx} se sitúa en torno a 50 lpm y el GC de 5 L/min, se



ha encontrado que durante un ejercicio cíclico máximo de predominio aeróbico el GC puede alcanzar valores de 30 L/min con una FC_{máx} de aproximadamente 195 lpm (27, 28); según un estudio de Mato (2020) las diferencias en las adaptaciones de la frecuencia cardiaca de mujeres entrenadas y no entrenadas están influenciadas por el estado hormonal del ciclo menstrual de las deportistas, que se comentará más adelante.

Cabe mencionar que durante el sangrado del período menstrual con duración normal de 3 a 5 días, se pierden aproximadamente 50 a 150 ml de sangre (29), lo que lleva a deficiencias de hierro y susceptibilidad a la anemia por hemólisis; sin embargo, esto se relaciona principalmente con el estado nutricional de la atleta (17).

Durante el embarazo, las adaptaciones fisiológicas están relacionadas con las necesidades del feto en desarrollo y el bienestar materno; así, aumenta el tamaño del ventrículo izquierdo del corazón, la hipertrofia miocárdica genera mayor contractilidad cardiaca debido a la carga hemodinámica y a la disminución de la resistencia periférica (8, 15, 21, 30), como consecuencia del aumento de los niveles de estrógenos y progesterona (31).

El volumen sanguíneo aumenta entre un 35% y un 50%, lo que equivale aproximadamente a 1,5 a 2 l, y el volumen sistólico entre un 10% y un 25% (8, 12, 17, 21, 30, 32-34). En la gestante la RHR aumenta entre 10% a 20% correspondiente a 12 a 20 lpm (8, 12, 17, 21, 30, 32, 33, 35-37) debido a la gonadotropina coriónica humana (hCG) secretada por la implantación del óvulo fecundado al endometrio (38) que disminuye la actividad del sistema parasimpático (17). A pesar del aumento del volumen sistólico causado por el aumento de la pared ventricular precoz, no hay un aumento considerable de la RHR (17, 39).

Es importante mencionar que, en las mujeres embarazadas, el volumen plasmático aumenta entre 20% a 55% y a su vez, el hematocrito aumenta aproximadamente 15% a 20% (33, 36, 37, 39, 40). Sin embargo, Carrillo-Mora (2021) indica que la hemoglobina disminuye, lo que influiría en el transporte de oxígeno a los tejidos. A su vez, el GC aumenta entre un 20% y un 50% alcanzando valores de hasta 7 L/min antes del parto (8, 15, 21, 26, 30, 33, 35, 37, 39, 41).

En cuanto a la atleta embarazada, el aumento de la RHR depende del nivel de entrenamiento (años de entrenamiento) siendo menos pronunciado cuanto mayor es el nivel de entrenamiento (33, 41, 42). Sin embargo, no existe un acuerdo completo sobre el comportamiento de la FCR en atletas embarazadas, por ejemplo: Sady et al. (1989), indica que no existen cambios en la RHR esto se debe a que las contracciones del músculo esquelético contribuyen al transporte sanguíneo manteniendo un adecuado aporte de oxígeno a los tejidos (40); sin embargo, Kardel



(2005) afirma que la RHR aumenta, pero la FCmax no presenta cambios significativos a los valores previos a la concepción. Según Pivarnik (2016) (43) la FCmáx saludable en la atleta embarazada de 140 lpm, recomendación del Colegio Americano de Obstetricia y Ginecología (ACOG), pero se ha documentado FCmáx de hasta 180 lpm sin reporte de riesgo para la gestante (9).

El GC aumenta, así como el volumen sistólico (11, 32, 33, 35), y también el volumen sanguíneo en un 30% (44); Sady et al. (1989) afirma que la atleta embarazada tiene un 27,5% menos de GC en relación a las no atletas. Sin embargo, Fierobe et al. (1990) indican que los valores son los mismos en atletas embarazadas y no embarazadas (45).

Es posible que la respuesta cardíaca dependa de las cargas de entrenamiento en la atleta embarazada (15), de la misma forma, el entrenamiento cardiovascular mantiene la salud fetal y materna, durante las semanas 20 a 28 hay evidencias de mejor rendimiento debido al aumento del CO asociado a los niveles de VO₂max (11, 24, 46).

Cambios respiratorios

En la mujer, la tendencia de la frecuencia respiratoria es mayor, siendo la Frecuencia Respiratoria en Reposo (FRR) de aproximadamente 12 Respiraciones por Minuto (RPM) y durante el ejercicio aumenta entre 35 a 45 RPM debido a la demanda de oxígeno, el Volumen Ventilatorio (VE) aproximado es de 6 L/min (25); la ventilación basal presenta modificaciones relacionadas con las fases del ciclo menstrual debido a los niveles de estradiol y progesterona, es así como se ha observado mayor ventilación durante la fase lútea (47).

Sin embargo, durante el ejercicio intenso en atletas de élite la FRR puede alcanzar 60 o 70 RPM con VE superior a 100 L/min (25), dado que las adaptaciones respiratorias en atletas de élite están ligadas al tamaño corporal y a la masa muscular activa, el valor máximo registrado de VE en atletas de élite es de 125 L/min (48); durante el embarazo el sistema respiratorio es más sensible a los cambios hormonales producidos, al aumento de hormonas como la hGC, progesterona y estrógenos (21, 40), el diafragma se eleva 4 cm aproximadamente hacia el tórax lo que se traduce en un aumento de la FRR de 2 BPM, suficiente para aumentar el VE al menos entre un 40% y un 50% (8, 25, 32, 36, 37, 39, 49), por lo que los valores de VE se sitúan entre 6 y 9 L/min.

Sin embargo, las informaciones sobre la FRR de atletas embarazadas son contradictorias, según Fierobe et al. (1990) en atletas embarazadas y no embarazadas no cambia, por otro lado, Freyder (1989), Kagan & Kuhn (2004) y Martens et al. (2006) indican un aumento de la FRR,



generando un aumento de la ventilación y del gasto respiratorio por minuto.

En cuanto a la resistencia pulmonar, en el embarazo disminuye hasta un 50% debido al menor tono del músculo liso bronquial y a la dilatación de las vías respiratorias (25, 36), lo que disminuye el volumen residual funcional (21, 39).

Los altos niveles de progesterona y estrógenos circulantes en la embarazada aumentan la sensibilidad al CO₂ y su eliminación por aumento de la ventilación, lo que se compensa con una mayor excreción renal de bicarbonato (21). Esta modificación adaptativa en el equilibrio ácido-base parece tener efectos sobre algunas variables utilizadas habitualmente para cuantificar la intensidad del entrenamiento, por ejemplo: se ha descrito una menor relación de intercambio respiratorio y pico de lactato post-ejercicio ante el ejercicio máximo (49).

En relación con el consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) en mujeres no entrenadas los valores se sitúan entre 40-50ml/kg/min y en atletas de élite puede alcanzar los 65ml/kg/min, en concreto, el informe más alto hasta el momento de VO₂máx es el del campeón olímpico de maratón, Joan Benoit, con un valor de 78,6 ml/kg/min (25). Durante el embarazo, los valores absolutos del VO₂máx aumentan del 10% al 50% (8, 32, 35, 37, 39, 49), de modo que el oxígeno basal aumenta aproximadamente del 15% al 20% (41). En cuanto a la atleta de élite embarazada, el VO₂máx a partir de la semana 17 evidencia un aumento del 9,1%, y el incremento puede llegar hasta el 50 o 60% de su valor normal al final del segundo trimestre mejorando la capacidad aeróbica (12, 34, 41). Bø et al. (2016), indicaron que atletas de élite en deportes no aeróbicos el VO₂máx podía alcanzar valores tan altos como 38,5 a 52,6 ml/kg/min durante el segundo trimestre de gestación. Sin embargo, este puede disminuir en el tercer trimestre (11), pero se cree que esta disminución está relacionada con cierta disminución de la actividad física realizada por la deportista (50).

Cambios musculoesqueléticos y otros aspectos de la composición corporal

Se estima que entre el 27-30% del peso corporal de la mujer corresponde a masa muscular, lo que equivale aproximadamente a 40-50 kg (17). Además, con el entrenamiento físico, las mujeres deportistas pueden alcanzar valores de masa muscular esquelética relativa de hasta 13,2 kg/m² (51), esto se debe a que el ejercicio intenso mejora la síntesis proteica permitiendo la hipertrofia del músculo esquelético (52). Estos cambios también son detectables a nivel celular, un estudio clásico de



Prince et al. (1977), demostró diferencias en el área transversal de las fibras musculares, en el vasto lateral, entre atletas femeninas y no atletas, a saber 4305 μm^2 (tipo I), 4679 μm^2 (tipo IIA) y 3510 μm^2 (tipo IIB), en contraste con 2784 μm^2 (tipo I), 3392 μm^2 (tipo IIA) y 2452 μm^2 (tipo IIB), respectivamente (53). Se ha propuesto que este aumento del área transversal de las fibras musculares de tipo I y II mejora la resistencia aeróbica en las atletas (54). Por otro lado, aunque existen pocos estudios sobre la morfología de la célula muscular en mujeres embarazadas (21), estudios con modelos animales han revelado que durante la gestación los cambios hormonales modifican las fibras musculares oxidativas de tipo I a fibras musculares glucolíticas de tipo II (21).

En relación con la funcionalidad del aparato locomotor, se sabe que la fuerza de tracción en los ligamentos de la mujer disminuye cuando los estrógenos están en niveles altos, como durante la fase folicular, ya que disminuye el colágeno y, a su vez, aumenta la elasticidad de los tejidos (52). Por otro lado, las adaptaciones de la gestación sobre el aparato locomotor hacen que la mujer sea más susceptible a lesiones y dolor debido al aumento de relaxina y progesterona que aumentan la laxitud articular y ligamentosa (8, 17), por lo tanto, las estructuras tienen menor tracción disminuyendo la fuerza muscular especialmente en los extensores y flexores de la espalda resultando en desventaja mecánica en la cadena posterior (39, 55). A pesar de lo anterior, en la atleta embarazada se evidencia una disminución del dolor lumbar debido al fortalecimiento de la musculatura de la zona media (core) a diferencia de la embarazada no atleta (14, 56), beneficiándose de un mejor ajuste biomecánico (34) aun cuando su centro de gravedad es más bajo (12, 57).

Por otro lado, la grasa corporal de la mujer oscila entre el 20-25% aproximadamente 15kg del peso corporal (7, 44), cabe destacar que esta grasa se distribuye mayoritariamente en las extremidades inferiores del cuerpo y los niveles óptimos están relacionados con la función hormonal normal (17); las deportistas de élite se caracterizan por tener porcentajes de grasa corporal inferiores a las mujeres no deportistas, entre 5-10kg aproximadamente 10-20% del peso corporal (17).

Con relación al agua corporal, el 50-60% del peso corporal total corresponde a esta, el 80% de esta está contenida en tejido metabólicamente activo (58); el porcentaje de agua corporal en deportistas de élite y no deportistas no cambia significativamente, según un estudio de Calvo Rico et al. (2013) encontraron este valor en deportistas entre el 57-60% (59).



Hay que añadir que los cambios en la composición corporal de la gestante dependen de cómo se inició el embarazo, por ello un aumento del 20% del peso inicial equivalente a 11,5kg a 16kg sería saludable (60). Según el artículo de Morais et al. (1997) que evaluaron los porcentajes de masa muscular, grasa corporal y agua en gestantes de 37 semanas o más, a través de bioimpedancia obtuvieron valores regulados a la normalidad de 69,2%, 30,8% y 50% respectivamente (61). Es importante mencionar que todos los cambios descritos anteriormente pueden variar de acuerdo con la disciplina deportiva de la mujer (17).

Cambios endocrinos

A lo largo de la vida, la mujer presenta cambios relacionados con los procesos de maduración y desarrollo biológico (22). Así, se genera un aumento de hormonas esteroideas sexuales como el estradiol y la progesterona, responsables de la menarquia alrededor de los 11 a 16 años de edad, y se establece el ciclo menstrual (23, 24), teniendo en cuenta o anterior, iniciaremos la revisión de las principales hormonas implicadas en la regulación del ciclo menstrual, a saber La secreción hipotalámica de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) regula este proceso a través de la producción y liberación de la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) desde la hipófisis (62). Los cambios en los niveles de estas dos hormonas, junto con otras, dan lugar a las 2 fases principales del ciclo menstrual:

- Folicular, al inicio de esta fase los bajos niveles de progesterona y estrógeno (alrededor de 5pg/ml) facilitan la ruptura y desprendimiento del endometrio, dando lugar a la menstruación (63). Posteriormente, la FSH aumenta progresivamente (29, 64), provocando el desarrollo de folículos ováricos, que producen y aumentan los niveles de estrógeno hasta aproximadamente 200 a 500 pg/ml. También hacia el final de esta fase se produce un pico en la producción y liberación de LH que desencadena la ovulación y posteriormente estimula la formación del cuerpo lúteo (24, 29).
- Lútea, esta fase se caracteriza por altos niveles de progesterona, producida por el cuerpo lúteo, así como de estrógenos, aunque estos últimos en niveles más bajos que en la fase folicular. Estas dos hormonas contribuyen a mantener el cuerpo lúteo y a preparar y mantener el revestimiento endometrial para una posible implantación (29, 64, 65).

Sin embargo, se ha descrito que algunas hormonas secretadas durante el ciclo menstrual pueden tener efectos sobre la condición física, la composición corporal y el metabolismo (62, 63). Por ejemplo:



- Los niveles de estrógenos aumentan durante el ejercicio intenso (64), incrementando la lipólisis muscular y facilitando su utilización como fuente de energía, lo que contribuye a una menor utilización del glucógeno muscular para este fin (66). Sin embargo, se ha descrito que durante la fase folicular bajos niveles de esta hormona favorecen la utilización de energía rápida y glucógeno muscular (67). Específicamente, se ha descrito que el estradiol tiene una función antioxidante, siendo responsable de una mayor oxidación lipídica y menor utilización de carbohidratos, protegiendo al sistema musculoesquelético del ejercicio intenso (64). Por otro lado, su aumento favorece el anabolismo proteico, estimula la síntesis de óxido nítrico mejorando la dilatación del músculo liso vascular (24, 64, 67), y aumenta la cantidad de receptores de relaxina en el tejido conectivo favoreciendo la laxitud ligamentosa. También se sabe que aumenta la contractibilidad y la resistencia de las fibras de tipo I (56).
- La progesterona favorece la vasoconstricción y aumenta la excitabilidad cardíaca, incrementando así la FC al mismo volumen e intensidad de entrenamiento (29, 67). Además, aumenta el contenido de colágeno (52) e inhibe la secreción de LH impidiendo la ovulación (29).

Adicionalmente, se ha descrito la participación de otras hormonas en la adaptación al ejercicio intenso, entre estas: testosterona, prolactina, hormona de crecimiento (GH), adipoquinas, glucocorticoides, catecolaminas (17, 23, 64).

- La testosterona contribuye a un estado anabólico de los tejidos aumentando el tamaño y número de fibras musculares, en las mujeres los niveles son de aproximadamente 2nmol/L (24), aumentando sus niveles debido al ejercicio intenso (64).
- La prolactina estimula la síntesis de progesterona, disminuye la sensibilidad a la GnRH y dependiendo de su nivel, modula la secreción de glucosa en sangre debido al estrés hormonal y/o físico (17), en mujeres no embarazadas es de 0 a 20ng/ml (65).
- La hormona del crecimiento (GH) potencia la síntesis de hormonas esteroideas gonadales, un bajo nivel de la misma se relaciona con bajos niveles de porcentaje graso (68) pero el ejercicio intenso aumenta sus niveles plasmáticos favoreciendo el crecimiento de huesos, músculos y tejido conectivo, también disminuye la fosforilación de la glucosa muscular y la utilización de carbohidratos como principal fuente de energía (17).



- Niveles elevados de cortisol indican menor secreción de GnRH (68), además de estimular la gluconeogénesis promoviendo el metabolismo proteico y la movilización de ácidos grasos, inhibiendo los efectos de la insulina (17).
- Las adipoquinas (leptina y adiponectina) tienen efectos sobre la secreción de GnRH e inhiben la secreción de cortisol (68), además de estimular la lipólisis (17).
- La insulina estimula la actividad de la GnRH (71) y durante el ejercicio sus niveles se reducen ligeramente, sin afectar a la captación de glucosa muscular, sin embargo, en sujetos entrenados el mayor nivel de catecolaminas genera una menor dependencia de la glucosa y una mayor utilización de los ácidos grasos como fuente de energía (17).
- Además, la beta-endorfina y la betalipotropina hacen que el lactato en mujeres entrenadas no aumente considerablemente, el organismo capta y almacena más glucógeno para su utilización a través de la glucólisis, a diferencia de las mujeres no entrenadas (23). Es importante destacar que el metabolismo femenino tiende a utilizar principalmente los lípidos como fuente de energía durante el ejercicio aeróbico, debido a la menor respuesta a las catecolaminas y hormonas esteroideas durante las fases del ciclo menstrual (25).

Por otro lado, en relación con algunas variables comúnmente utilizadas para el control del entrenamiento, como el VO₂máx, la resistencia aeróbica y el rendimiento anaeróbico, una revisión realizada por Cano-Sokoloff, et al (2016), encontró que la mayoría de las investigaciones consultadas no reportaban diferencias significativas en estas variables, durante las diferentes fases del ciclo menstrual.

Cuando se inicia la implantación del óvulo fecundado en el endometrio, se desencadena la secreción de una hormona idéntica a la LH, la gonadotropina coriónica (hCG), cuya función es mantener el cuerpo lúteo y evitar la menstruación, así como mantener la secreción de estradiol y progesterona, una vez implantado el blastocisto, el tejido fetal y materno juntos forman la unidad funcional placentaria (38), que es una glándula endocrina incompleta ya que no produce estradiol ni progesterona por sí misma, pero estimula la secreción de hormonas como la hCG, una variante de la GH también llamada hormona de crecimiento placentario PGH, que estimula la síntesis proteica, la gluconeogénesis y la lipólisis; además el lactógeno placentario hPL, que aumenta los requerimientos de insulina en la madre (38), y aumenta la producción de insulina (32); estas modificaciones del sistema endocrino desencadenadas por la placenta, producen un aumento en la síntesis de GnRH que mantienen y regulan los niveles de FSH, LH, estrógenos y



progesterona para la continuidad del embarazo (8), y al mismo tiempo aumentan la secreción de DHEA-S, ACTH y prolactina (23, 39); La producción de hCG similar a la TSH genera hiperplasia y vascularización en la tiroides, sin embargo, aunque hay un aumento en los niveles de tiroxina total (T4), las hormonas tiroideas libres permanecen iguales (39, 69). La hipófisis aumenta de volumen aproximadamente un 135% lo que genera un aumento del nivel de progesterona aumentando la síntesis de óxido nítrico que influye en la vasodilatación y relajación del músculo liso (17) (17, 30, 39, 41), la relaxina aumenta hasta 10 veces, aumentando la laxitud musculoesquelética (39), los estrógenos estimulan la secreción de tirotropina y catecolaminas generando redistribución del flujo sanguíneo a los músculos influyendo directamente en el VO₂máx (17).

Además, la hormona liberadora de corticotropina (CRH) estimula la producción de ACTH que aumenta los niveles de hormonas suprarrenales como la aldosterona y el cortisol, que junto con la progesterona genera resistencia a la insulina para asegurar glucosa suficiente para la placenta y el feto, es así como los tejidos maternos dejan de utilizar la glucosa como principal fuente de energía, disminuye el glucógeno hepático y se utilizan los ácidos grasos, favoreciendo la lipólisis, esto se debe a los efectos de la hCG y la GH (21, 38, 69); a su vez, la progesterona reduce el tono ureteral al producir 3 veces más renina que aumenta la acción del sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona (39), generando un aumento en la excreción y reabsorción de proteínas y glucosa, estimulando su síntesis hepática (30, 36).

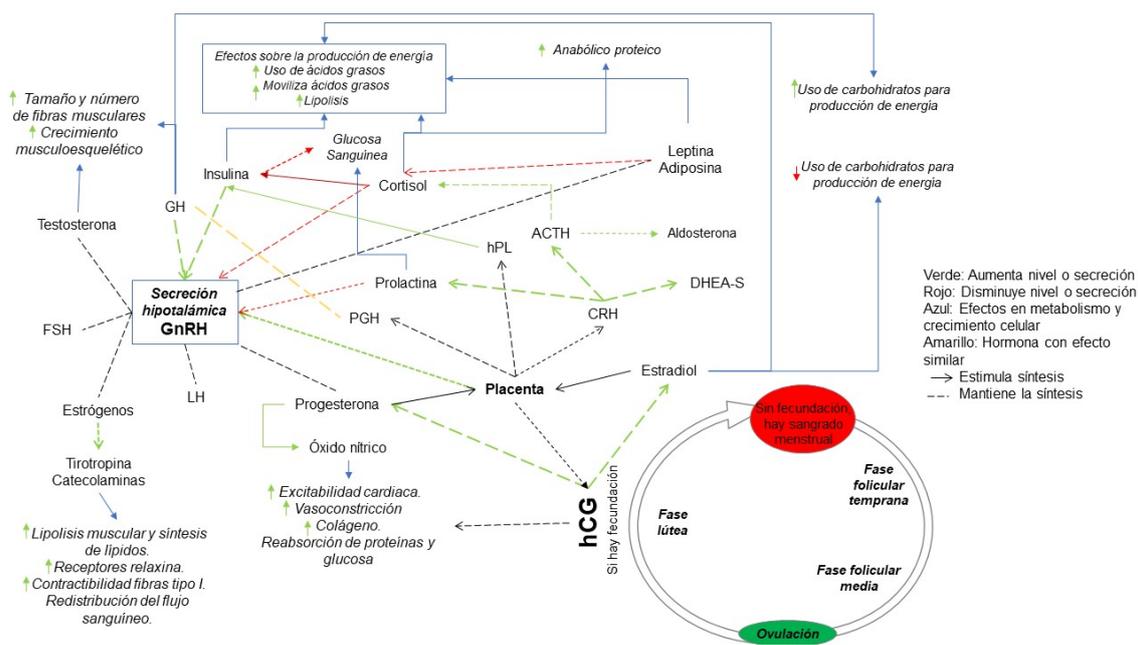


Figura 1. Interrelación entre las hormonas durante el embarazo que intervienen en la fisiología de la atleta de élite. hCG: gonadotropina coriónica humana; GH: hormona de crecimiento; CRH: hormona liberadora de corticotropina; PGH: hormona de crecimiento placentaria; hPL: lactógeno placentario humano; FSH: hormona folículo estimulante; LH: hormona luteinizante; ACTH: hormona adreno-corticotropa; DHEA-S: hormona dehidroepiandrosterona sulfato. *Figura de elaboración propia.*

CONCLUSIONES

Debido a los cambios en la fisiología de la atleta de élite durante el embarazo en los sistemas cardiovascular y respiratorio como el gasto cardíaco, el volumen sanguíneo, el volumen ventilatorio, que influyen en las variables de FC_{máx} y VO₂_{máx}, comúnmente utilizadas para determinar la intensidad de las cargas de entrenamiento, no serán totalmente fiables.

Según esta revisión, existe suficiente información para comprender los cambios generales en la composición corporal, como los cambios en la masa corporal y el porcentaje de grasa corporal. Sin embargo, se dispone de poca información sobre los cambios morfológicos de las fibras musculares en las embarazadas, y existen pruebas dispares y escasas sobre los efectos del sistema endocrino en la regulación del metabolismo energético, lo que dificulta determinar qué sustratos se utilizan predominantemente en los deportes aeróbicos o anaeróbicos.

Por otro lado, según las fuentes consultadas, los cambios hormonales relacionados con el ciclo menstrual influyen en el metabolismo de las



grasas, facilitando su utilización como fuente de energía. Además, se identificaron cambios en los niveles de estrógenos con efectos claramente descritos sobre el aumento de la laxitud articular y ligamentosa. No se identificaron efectos del ciclo menstrual sobre el VO₂máx, la resistencia aeróbica y el rendimiento anaeróbico.

En conclusión, la investigación en deportistas de élite embarazadas es un campo aún poco estudiado, por lo tanto, es importante realizar investigaciones enfocadas a dilucidar cómo las adaptaciones al deporte de élite y la gestación modifican conjuntamente la fisiología de la mujer, así mismo, es necesario investigar el control de las variables fisiológicas más utilizadas en el entrenamiento físico y desarrollar consensos de expertos sobre su uso y efectividad, además del uso de variables complementarias o alternativas.

■ REFERENCIAS

1. González-Ruiz J, Gómez-Píriz P, Puga-González E, Cabello-Manrique D. Spanish women athletes' performance in the Summer Olympic Games history. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2022;17(3):473-83.
2. Mindeporte. Se firmó el Pacto por la Equidad para la Mujer en el Deporte 2021 [Available from: <https://www.mindeporte.gov.co/sala-prensa/noticias-mindeporte/se-firmo-pacto-equidad-para-mujer-deporte>].
3. ONUMUJERES. Colombia, pionera en la región con los primeros lineamientos para una política pública de equidad de género en el deporte: ONU 2022 [Available from: <https://colombia.unwomen.org/es/stories/noticia/2022/07/colombia-pionera-lineamientos-politica-publica-equidad-de-genero-deporte>].
4. Ohlendorf JM, Anklam AL, Gardner L. "I am a Runner": A qualitative analysis of women-runners' pregnancy experiences. *Women and birth : journal of the Australian College of Midwives*. 2019;32(3):e307-e14.
5. Martínez-Pascual B, Alvarez-Harris S, Fernández-de-Las-Peñas C, Palacios-Ceña D. Pregnancy in Spanish elite sportswomen: A qualitative study. *Women & health*. 2017;57(6):741-55.
6. Luengo E. ¿Qué pasa con el deportista no de élite?, ¿y con su reconocimiento? *Arch Med Deporte*. 2015;32(170):359-60.
7. Gallo R. La mujer en el deporte 2015; 3(3):[20-7 pp.]. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/educacionfisicaydeporte/article/view/22887>
8. Carrillo-Mora P, García-Franco A, Soto-Lara M, Rodríguez-Vásquez G, Pérez-Villalobos J, Martínez-Torres D. Cambios fisiológicos durante el embarazo normal. *Rev Fac Med (Méx)* [revista en la Internet]. 2021;64(1):39-48.



9. Wieloch N, Klostermann A, Kimmich N, Spörri J, Scherr J. Sport and exercise recommendations for pregnant athletes: a systematic scoping review. *BMJ open sport & exercise medicine*. 2022;8(4):e001395.
10. Pullen E, Miller B, Wiltshire G, Plateau C. A feminist materialist inspired analysis of the meaning and management of pregnancy and reproductive health in Olympic and Paralympic female athletes. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*. 2023;15(3):332-44.
11. L'Heveder A, Chan M, Mitra A, Kasaven L, Saso S, Prior T, et al. Sports Obstetrics: Implications of Pregnancy in Elite Sportswomen, a Narrative Review. *J Clin Med*. 2022;11(17).
12. Hale RW, Milne L. The elite athlete and exercise in pregnancy. *Seminars in perinatology*. 1996;20(4):277-84.
13. Molina M, Molina F. El dolor pélvico en la embarazada: ejercicio y actividad. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*. 2007;7(27):266-73
14. Erdener U, Budgett R. Exercise and pregnancy: focus on advice for the competitive and elite athlete. *British journal of sports medicine*. 2016;50(10):567.
15. Meah VL, Backx K, Cockcroft JR, Shave RE, Stöhr EJ. Cardiac Responses to Submaximal Isometric Contraction and Aerobic Exercise in Healthy Pregnancy. *Medicine and science in sports and exercise*. 2021;53(5):1010-20.
16. Pascoal A, Stuge B, Mota P, Hilde G, Bø K. Therapeutic Exercise Regarding Musculoskeletal Health of the Pregnant Exerciser and Athlete. 2022. p. 413-31.
17. López-Chicharro J, Fernández-Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. 3 ed: Editorial médica panamericana; 2013.
18. Sundgot-Borgen J, Sundgot-Borgen C, Myklebust G, Sølvsberg N, Torstveit MK. Elite athletes get pregnant, have healthy babies and return to sport early postpartum. *BMJ open sport & exercise medicine*. 2019;5(1):e000652.
19. Scaliter J. Mujeres que compitieron en los JJOO estando embarazadas [[Internet]]. ; 2021 [2023 Aug 31]. Available from: <https://www.muyinteresante.es/historia/35988.html>.
20. Herrera M. Mujeres en edad fértil: Etapa crucial en la vida para el desarrollo óptimo de las futuras generaciones. *An Venez Nutr*. 2017;30(2):112-9.
21. Bø K, Artal R, Barakat R, Brown W, Davies GA, Dooley M, et al. Exercise and pregnancy in recreational and elite athletes: 2016 evidence summary from the IOC expert group meeting, Lausanne. Part 1-exercise in women planning pregnancy and those who are pregnant. *British journal of sports medicine*. 2016;50(10):571-89.



22. Verdugo MF. El proceso de maduración biológica y el rendimiento deportivo Rev Chil Pediatr. 2015;86(6):383-5
23. Uribe G. Modificaciones endocrinas inducidas por la actividad física. Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología. 1990;41:89-96.
24. Mato-Pérez A. Respuesta fisiológica a pruebas de esfuerzo máximas en mujeres deportistas2020 [cited 2023 Aug 23]. Available from: <http://recercat.cat/handle/2072/450429>.
25. López-Chicharro J, López-Mojares LM. Fisiología clínica del ejercicio: Editorial médica panamericana 2008.
26. Lombard WP, Cope OM. Sex-differences in heart action. American Journal of Physiology-Legacy Content. 1927;83(1):42-6.
27. Galindo-Canales M. Estudio de la saturación de oxígeno a través de pulsioximetría en mujeres deportistas Universidad Complutense de Madrid; 2017 [cited 2023 Aug 23]. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.14352/22713>
28. Tarín ER, Martínez DC, editors. Regulación cardiocirculatoria durante el ejercicio físico en la mujer1995.
29. Galindo-Garnica MC. Análisis del ciclo menstrual desde el rendimiento en los diferentes procesos deportivos. Revisión de literatura. In: (Colombia) UdCAyAU, editor. Trabajo de grado - Pregrado ed. Bogotá2023.
30. Silversides CK, Colman JM. Physiological Changes in Pregnancy. Heart Disease in Pregnancy2007. p. 6-17.
31. Sady SP, Carpenter MW, Thompson PD, Sady MA, Haydon B, Coustan DR. Cardiovascular response to cycle exercise during and after pregnancy. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1989;66(1):336-41.
32. Martens D, Hernandez B, Strickland G, Boatwright D. Pregnancy and Exercise: Physiological Changes and Effects on the Mother and Fetus. Strength and Conditioning Journal. 2006;28.
33. Kagan K, Kuhn U. Sport und Schwangerschaft. Herz. 2004 Jun;29(4). . Herz. 2004;29(4).
34. Pivarnik JM, Perkins CD, Moyerbrailean T. Athletes and pregnancy. Clin Obstet Gynecol. 2003;46(2):403-14.
35. Kardel KR. Effects of intense training during and after pregnancy in top-level athletes. Scand J Med Sci Sports. 2005;15(2):79-86.
36. Purizaca M. Modificaciones fisiológicas en el embarazo. Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia [Internet] 2010;56(1):57-69.
37. Feito-Sancho J, Pérez-Sahagún P, Feito-Sancho L. Cambios fisiológicos en el embarazo y sus implicaciones anestésicas: Esquema. 2021; 13(5).



38. Ira-Fox S. Fisiología Humana 14th ed. Padilla G, Olivares S, editors. Mc Graw Hill Education; 2016. . 14th ed. ed: Mc Graw Hill Education; 2016.
39. Soma-Pillay P, Nelson-Piercy C, Tolppanen H, Mebazaa A. Physiological changes in pregnancy. *Cardiovascular journal of Africa*. 2016;27(2):89-94.
40. Reilly T. La Mujer Corredora. *PubliCE*. 1994;2(8).
41. Freyder SC. Literature Review: Exercising While Pregnant. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1989;10(9):358-65.
42. Borg-Stein JP, Fogelman DJ, Ackerman KE. Exercise, sports participation, and musculoskeletal disorders of pregnancy and postpartum. *Seminars in neurology*. 2011;31(4):413-22.
43. Pivarnik JM, Szymanski LM, Conway MR. The Elite Athlete and Strenuous Exercise in Pregnancy. *Clin Obstet Gynecol*. 2016;59(3):613-9.
44. O'Brien M, Robertson A. Women and sport. *Scottish medical journal*. 2010;55(2):25-8.
45. Fierobe T, Pons JC, Edouard D, O'Donovan F, Papiernik E. [Sports and pregnancy. A review of the literature]. *Journal de gynecologie, obstetrique et biologie de la reproduction*. 1990;19(4):375-81.
46. Beilock SL, Feltz DL, Pivarnik JM. Training patterns of athletes during pregnancy and postpartum. *Research quarterly for exercise and sport*. 2001;72(1):39-46.
47. Schoene R, Robertson H, Pierson D, Peterson A. Respiratory drives and exercise in menstrual cycles of athletic and nonathletic women. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*. 1981;50:1300-5.
48. Zurita-Perez R. Diferencias significativas entre el hombre y la mujer deportista en cuanto a la capacidad de rendimiento deportivo. 2009.
49. Heenan AP, Wolfe LA, Davies GA. Maximal exercise testing in late gestation: maternal responses. *Obstetrics and gynecology*. 2001;97(1):127-34.
50. Clapp JF, 3rd, Wesley M, Sleamaker RH. Thermoregulatory and metabolic responses to jogging prior to and during pregnancy. *Medicine and science in sports and exercise*. 1987;19(2):124-30.
51. Abe T, Wong V, Dankel SJ, Bell ZW, Spitz RW, Viana RB, et al. Skeletal muscle mass in female athletes: The average and the extremes. 2020;32(2):e23333.
52. Holschen J. The Female Athlete. *Southern medical journal*. 2004;97:852-8.
53. Prince FP, Hikida RS, Hagerman FC. Muscle fiber types in women athletes and non-athletes. *Pflugers Archiv: European journal of physiology*. 1977;371(1-2):161-5.



54. León-París C. Influencia del sexo en la práctica deportiva. *Biología de la mujer deportista*. Arbor. 2000;165(650):249-63.
55. Noon ML, Hoch AZ. Challenges of the pregnant athlete and low back pain. *Curr Sports Med Rep*. 2012;11(1):43-8.
56. Bø K, Backe-Hansen KL. Do elite athletes experience low back, pelvic girdle and pelvic floor complaints during and after pregnancy? *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17(5):480-7.
57. Wilkerson LA. The female athlete. *Am Fam Physician*. 1984;29(5):233-7.
58. Avitia-Castillo LS. Comparación de determinación de agua corporal total por método de bioimpedancia eléctrica y método de hidrometría por dilución de deuterio durante el embarazo en mujeres con IMC normal y obesidad. [Puebla]: Universidad Iberoamericana Puebla; In: PUEBLA UI, editor. Puebla 2018.
59. B. C-R, García-García JM, Fernandes-Monteiro L. Análisis de la deshidratación en las diferentes etapas de entrenamiento en mujeres: Lucha vs. Judo. *Educación y territorio* 2013;3(2):31-41.
60. Cereceda Bujaico MdP, Quintana Salinas MR. Consideraciones para una adecuada alimentación durante el embarazo %J *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*. 2014;60:153-60.
61. Faintuch J, Morais AAC, Tavares GM, Pezzin AC, Moana AA, Galvão HP. Avaliação da composição corporal em gestantes de termo. *Revista da Associação Médica Brasileira*. 1997;43(2):109-13.
62. Izquierdo-Miranda Z, Oliva V, Almenares M, Garcia Ucha F. Actualización, pronóstico y medidas de intervención para la tríada de la mujer deportista. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, ISSN 1577-0354, N° 24, 2006. 2006.
63. Ramirez A. Efectos de las fases del ciclo menstrual sobre la condición física, parámetros fisiológicos y psicológicos en mujeres jóvenes moderadamente entrenadas. In: *Extremadura Ud*, editor. 2014
64. Cano Sokoloff N, Misra M, Ackerman KE. Exercise, Training, and the Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axis in Men and Women. *Frontiers of hormone research*. 2016;47:27-43.
65. Rodrigo A, Santiago E, Barranquero M, Salvador ZAhelmcslnn. Análisis hormonal en la mujer: ¿cuáles son los niveles normales? 2021.
66. Sims ST, Kerksick CM, Smith-Ryan AE, Janse de Jonge XAK, Hirsch KR, Arent SM, et al. International society of sports nutrition position stand: nutritional concerns of the female athlete. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2023;20(1):2204066.



67. Aguilar-Macías AS, Miranda M, Quintana-Díaz A. La mujer, el ciclo menstrual y la actividad física. . Revista Archivo Médico de Camagüey [Internet]. 2017;21(2):294-307.
68. Misra M. Neuroendocrine mechanisms in athletes. Handbook of clinical neurology. 2014;124:373-86.
69. Artal-Mittelmark R. Fisiología del embarazo [Internet]. 2022.