



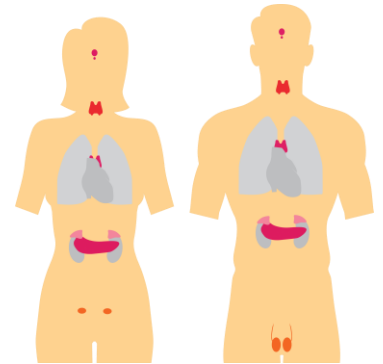
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Facultad de Odontología



Apuntes

Sistema glandular



Estudios Profesionales: Licenciatura de Cirujano Dentista

Unidad de Aprendizaje: Semiología II

Carga académica:	2	4	6	8
	Horas Teóricas	Horas prácticas	Total de horas	Créditos

Carácter: **Obligatoria** Tipo: **Curso Taller** Periodo escolar: **Quinto**

Núcleo de formación: **Sustantivo**

Dra. María Elena V. Escalona Franco

Contenido

1. Generalidades del sistema endocrino y mecanismos de acción hormonal	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Hormonas	5
1.2.1 Clasificación de las hormonas.....	5
1.3 Concentración hormonal	7
1.4 Mecanismos de acción hormonal.....	8
2. Sistema neuroendocrino. Hipotálamo e hipófisis	9
2.1 Introducción.....	9
2.2 Ejes hormonales hipotálamo-adenohipofisarios	9
2.3 Hormonas hipotalámicas	10
2.4 Hormonas adenohipofisarias	11
2.5 Estudio de la hormona del crecimiento (GH).....	12
2.6 Estudio de la prolactina (PRL)	14
2.7 Hormonas neurohipofisarias.....	14
2.7.1 Oxitocina	14
2.7.2 Vasopresina o ADH.....	15
3. Glándula tiroides	15
3.1 Introducción.....	15
3.2 Síntesis de hormonas tiroideas.....	16
3.3 Secreción y transporte de hormonas tiroideas.....	16
3.4 Acciones de las hormonas tiroideas	16
3.5 Control de la secreción	17
3.6 Alteraciones de la función tiroidea	17
4. Glándula suprarrenal	18
4.1 Introducción: estructura de las glándulas suprarrenales	18
4.2 Síntesis y secreción de hormonas corticoadrenales o corticosteroides.....	19
4.2.1 Transporte e inactivación.....	19
4.3 Glucocorticoides	19
4.3.1 Control de la secreción de glucocorticoides	21
4.4.1 Control de la secreción de mineralcorticoides.....	21
4.5 Hormonas sexuales.....	21

4.5.1	Médula adrenal.....	21
4.5.2	Síntesis de las catecolaminas	22
4.5.3	Acciones de las catecolaminas.....	22
5.	Páncreas endocrino.....	22
5.1	Introducción: estructura del páncreas endocrino.....	22
5.2	Insulina	22
5.2.1	Acciones de la insulina.....	23
5.2.2	Control de la secreción de insulina	23
5.3	Glucagón.....	24
5.3.1	Amilina.....	24
5.3.2	Somatostatina.....	24
5.4	Regulación del almacenamiento energético.....	24
5.4.1	Efectos de la deficiencia en insulina.....	25
6.	Metabolismo fosfo-cálcico y óseo	25
6.1	Introducción.....	25
6.2	Metabolismo del Calcio	25
6.3	Metabolismo del fósforo	26
6.4	Órganos que participan en el control de la calcemia y fosfatemia	26
6.5	Hormona paratiroidea (Parathormona , PTH).....	27
6.6	Vitamina D.....	28
6.6.1	Acciones del calcitriol	29
6.7	Calcitonina	29
6.7.1	Acciones de la calcitonina.....	29
7.	Sistema reproductor	29
7.1	Diferenciación sexual.....	29
7.2	Sistema reproductor masculino.....	30
7.2.1	Espermatogénesis.....	30
7.2.2	Síntesis y secreción de testosterona.....	32
7.2.3	Regulación de la función testicular	32
1.	7.2.3.1 Retroalimentación negativa.....	32
7.2.4	Acciones de los andrógenos	33
7.3	Sistema reproductor femenino.....	33
7.3.1	Oogénesis	33

7.3.2 Síntesis y secreción de estrógenos y progesterona.....	35
7.3.3 Regulación de la función de los ovarios.....	35
2. 7.3.3.1 Retroalimentación negativa y positiva.....	36
7.3.4 Acciones de estrógeno y progesterona.....	37
3. 7.3.4.1 Acciones de los estrógenos sobre tejidos efectores	37
4. 7.3.4.2 Acciones de la progesterona sobre tejidos efectores	37
5. 7.3.4.3 Otras funciones de estrógenos y progesterona	37
7.4 Ciclo menstrual	38
7.4.1 Regulación del ciclo reproductor femenino.....	38
7.5 Embarazo.....	40
7.5.1 Hormonas del embarazo.....	40
10. Primer trimestre	40
Referencias.....	41

1. Generalidades del sistema endocrino y mecanismos de acción hormonal

1.1 Introducción

- La regulación y coordinación de funciones de las diferentes células del organismo se realiza a través de dos sistemas, uno, el nervioso y otro, el endocrino. En el caso del primero, la transmisión de la información se realiza mediante señales rápidas de naturaleza eléctrica; en cambio el sistema hormonal utiliza señales más lentas de naturaleza química: las hormonas.
- Las hormonas son producidas por un tipo de células, denominadas **células endocrinas**, circulan por la sangre y llegan hasta otras células denominadas **células diana**, ejerciendo sobre ellas un efecto regulador.
- Las hormonas actúan sobre todos los sistemas del organismo, regulando la homeostasis que permite mantener un medio interno estable, además son importantes en el desarrollo y crecimiento, en el metabolismo, y en los mecanismos reproductores.
- El concepto de hormona se ha ido ampliando, ya que algunas, por ejemplo, no viajan por la sangre, o bien ejercen sus acciones a nivel local sobre células vecinas (acción paracrina). E incluso las hormonas pueden actuar sobre las propias células que las fabrican, desarrollando así una acción autocrina.
- Aunque estudiados por separado, el sistema nervioso y endocrino están estrechamente relacionados, ya que muchas neuronas secretan hormonas, "neurosecreción"; y muchas hormonas, que en origen sólo se consideró que actuaban transportadas en sangre, se ha observado que funcionan también como neurotransmisores del sistema nervioso central.

1.2 Hormonas

- Las hormonas son moléculas sintetizadas y secretadas por células endocrinas. Estas células pueden encontrarse de forma aislada distribuidas por el organismo, o bien agrupadas formando glándulas endocrinas. Estas glándulas se diferencian de las exocrinas por la ausencia de túbulos a los que se vierta la secreción, y disponen de una gran irrigación sanguínea y linfática a las cuales secretan las hormonas.

1.2.1 Clasificación de las hormonas

- Según su estructura química se diferencian tres tipos de hormonas:

1. *Derivadas de aminoácidos*. Como las hormonas tiroideas que derivan del aminoácido tirosina, o las catecolaminas.^[1]_{SEP}
2. *Peptídicas*. Son el grupo más numeroso y varían mucho en tamaño, algunas son péptidos de muy pequeño tamaño, formadas por tan sólo 3 aminoácidos, y otras son compuestos de carácter polipeptídico, que alcanzan varios cientos de aminoácidos.
3. *Esteroides*. Son las más importantes de naturaleza lipídica. Su estructura básica deriva del colesterol y sus vías sintéticas son comunes existiendo enzimas llaves que determinan las diferentes rutas metabólicas.
 - La naturaleza química determina como se sintetiza, se almacena, se secreta y es transportada en sangre. También su vida media y su forma de establecer relación con su célula diana viene determinada por la estructura química de la hormona.
 - En términos generales, las moléculas pequeñas y de naturaleza hidrófila, viajan libres en sangre, mientras que las de mayor tamaño o de carácter hidrófobo (lípidos) viajan unidas proteínas plasmáticas transportadoras. Éstas últimas van eliminándose de la circulación de modo mucho más lento, de forma que su vida media es mayor que la de las que van libres en solución.
 - La unión de las hormonas a su receptor en la célula diana es condición ineludible para que puedan ejercer sus efectos fisiológicos, las hormonas liposolubles tienen sus receptores localizados en el citoplasma o en el núcleo de sus células diana, mientras que las hidrosolubles tienen sus receptores ubicados en la membrana celular.
 - Otra clasificación de los sistemas hormonales se realiza a partir de las relaciones anatómicas entre la célula A (célula endocrina) y la célula B (célula diana):
 - *Sistémica*.^[1]_{SEP} La hormona se sintetiza y almacena en células específicas asociadas con una glándula endocrina, ésta libera la hormona al torrente sanguíneo cuando recibe la señal fisiológica adecuada. La hormona viaja hacia un blanco celular lejano que usualmente tiene una alta afinidad por la hormona. La hormona se acumula en este blanco y se inicia una respuesta biológica, que suele resultar en un cambio de concentración de un componente sanguíneo, que sirve como señal de retroalimentación para la glándula endocrina, la cual disminuye la biosíntesis y secreción de la hormona. Ejemplo: liberación de hormonas del hipotálamo en un sistema porta cerrado lo que asegura que las

hormonas lleguen a la pituitaria anterior, que contiene células receptoras de dichas hormonas.

- *Paracrina*. [L]
[SEP] La distancia entre las células A y B es pequeña de manera que A sintetiza y secreta la hormona que difunde hasta B. Ejemplo: producción de testosterona por las células intersticiales de Leydig, después difunde en los túbulos seminíferos adyacentes.
- *Autocrina*. [L]
[SEP] Es una variación del sistema paracrina en el que la célula que sintetiza y secreta la hormona también es la célula blanca. Ejemplo: prostaglandinas.
- *Neurotransmisores*. [L]
[SEP] Cuando la señal eléctrica de la neurona es sustituido por un mediador químico, (el neurotransmisor) que es secretado por el axón. El neurotransmisor difunde localmente en la sinapsis hasta el receptor de la célula adyacente. Neurotransmisores como acetilcolina y norepinefrina se clasifican como neurohormonas paracrinas.

1.3 Concentración hormonal

- La mayor parte de las hormonas se encuentran en los líquidos corporales en concentraciones muy bajas, del orden de nanomolar a picomolar (10^{-9} a 10^{-12}). Estos valores vienen determinados por:
 1. *La tasa de secreción*. La secreción de una hormona no se realiza de modo continuo y constante, sino que se realiza a pulsos. Estos pulsos pueden variar de frecuencia dependiendo de que la célula endocrina reciba estímulos positivos que incrementarán la secreción o estímulos negativos que la disminuirán. Estos estímulos pueden ser nerviosos, hormonales o bien dependientes de la concentración de alguna molécula o ión específico. Además algunas hormonas presentan un patrón de secreción de carácter rítmico siguiendo ritmos ambientales como luz/oscuridad o sueño/vigilia, estos ciclos de 24 horas se conocen con el nombre de ritmos circadianos y existen diversas hormonas que les siguen, así ACTH, cortisol, GH, etc.
 2. *La tasa de eliminación*. La hormona circulante es eliminada bien por excreción o por inactivación metabólica, de tal forma que muchos productos de este metabolismo presentan una actividad hormonal menor o bien ninguna.


1.4 Mecanismos de acción hormonal

- Estos mecanismos utilizan los mismos sistemas que los descritos en la comunicación intercelular. La respuesta de una célula a la orden hormonal da lugar a una modificación de una actividad específica celular. El inicio de la respuesta hormonal requiere la unión específica de la hormona con su receptor, dependiendo dicha respuesta del tipo de receptor hormonal que posea la célula diana.
- *Receptores de membrana plasmática*. Reconocen hormonas solubles en agua tales como las peptídicas. La vida media es a menudo de segundos o minutos (la mayoría de las hormonas peptídicas). Funcionan transmitiendo una señal después de la fijación. La activación puede ser directa, receptores que constituyen canales iónicos o enzimas, o puede ser indirecta, transduciendo señales a través de proteínas G y aumentando la concentración de segundos mensajeros intracelulares. Las hormonas peptídicas se fijan a estos receptores, y de su unión se produce hidrólisis de fosfatidilinositol, movilización de Ca, formación de nucleótidos intermedios fosforilados, síntesis de adenosinmonofosfato cíclico (AMPC) con activación de proteincinasas que conducirían a la fosforilación de proteínas específicas y a la aparición de efectos fisiológicos.
- *Receptores intracelulares*. Localizados en el citoplasma o en el núcleo, son los utilizados por las hormonas esteroideas y tiroideas que alcanzan el citoplasma celular mediante difusión pasiva. Tras su unión se trasladan al núcleo-translocación (hormonas esteroideas) o bien se forman en el propio núcleo (hormonas tiroideas), uniéndose a secuencias específicas reguladores de DNA, controlando así la tasa de transcripción de RNA a partir de los genes controlados por estos elementos reguladores, y así aumenta o disminuye la síntesis de proteínas citoplasmáticas que median los efectos de la hormona se incrementa o reduce.
- Las respuestas hormonales son de naturaleza muy variada dependiendo de cuál sea la célula diana:
 1. Cambios en la permeabilidad de la membrana, facilitando la entrada de sustratos para su uso como precursores biosintéticos o como compuestos energéticos.
 2. Modificación del potencial de membrana.
 3. Activación de enzimas de membrana que producen una cascada de reacciones metabólicas.

4. Activación del mecanismo de transcripción genética, modificando el ritmo de síntesis proteica.

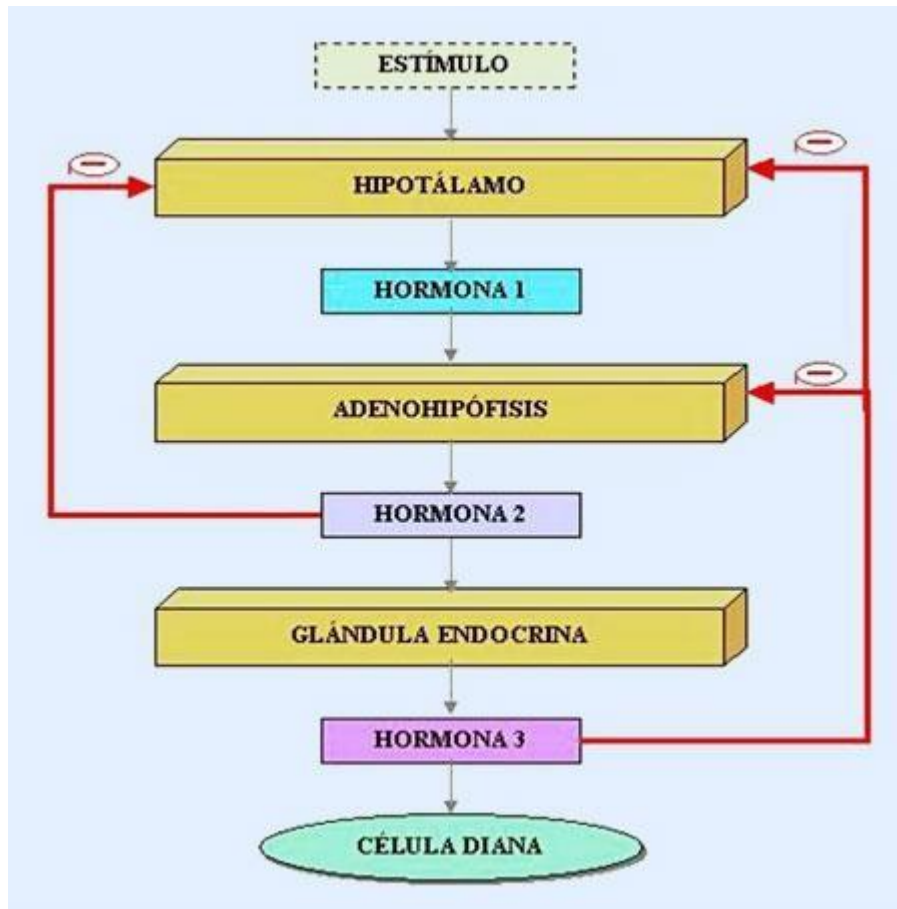
2. Sistema neuroendocrino. Hipotálamo e hipófisis

2.1 Introducción

- El hipotálamo es una parte del diencefalo situado debajo del tálamo y formado por varios núcleos de neuronas, muchas de ellas de naturaleza neurosecretora. De todos los núcleos hipotalámicos conviene señalar:
 1. Núcleo supraóptico.
 2. Núcleo paraventricular.
 3. Núcleos tuberales.
- La hipófisis es una pequeña glándula (0,6 g.) alojada en la silla turca del esfenoides, está unida al hipotálamo a través del tallo pituitario. En ella se diferencian dos lóbulos o regiones, diferentes tanto estructural como funcionalmente. El lóbulo anterior constituye la mayor parte de la glándula (85%) es también denominado **adenohipófisis** y deriva del ectodermo embrionario de una evaginación de la faringe. El lóbulo posterior o **neurohipófisis** es más pequeño (15%) y su origen es nervioso, ya que procede de una evaginación hacia abajo del encéfalo. Su estructura histológica es también muy distinta, mientras que la adenohipófisis son células endocrinas formando cordones, la neurohipófisis son terminaciones de axones amielínicos.
-  La vascularización de la adenohipófisis procede del sistema porta hipotálamo-hipofisario. Los vasos porta procedentes del hipotálamo, conteniendo las neurohormonas hipotalámicas descienden por el tallo hipofisario irrigando la adenohipófisis.

2.2 Ejes hormonales hipotálamo-adenohipofisarios

- La hipófisis libera a la circulación periférica una hormona determinada que ejerce sus acciones periféricas y el resultado puede ser la génesis de una acción biológica, la liberación de una nueva hormona que a su vez originará una acción biológica, o ambas. La acción biológica iniciada o los niveles de la hormona liberada cierran el circuito mediante un mecanismo de retroalimentación (feedback) negativa, inhibiendo la liberación hipofisaria de la hormona que puso en marcha el proceso.

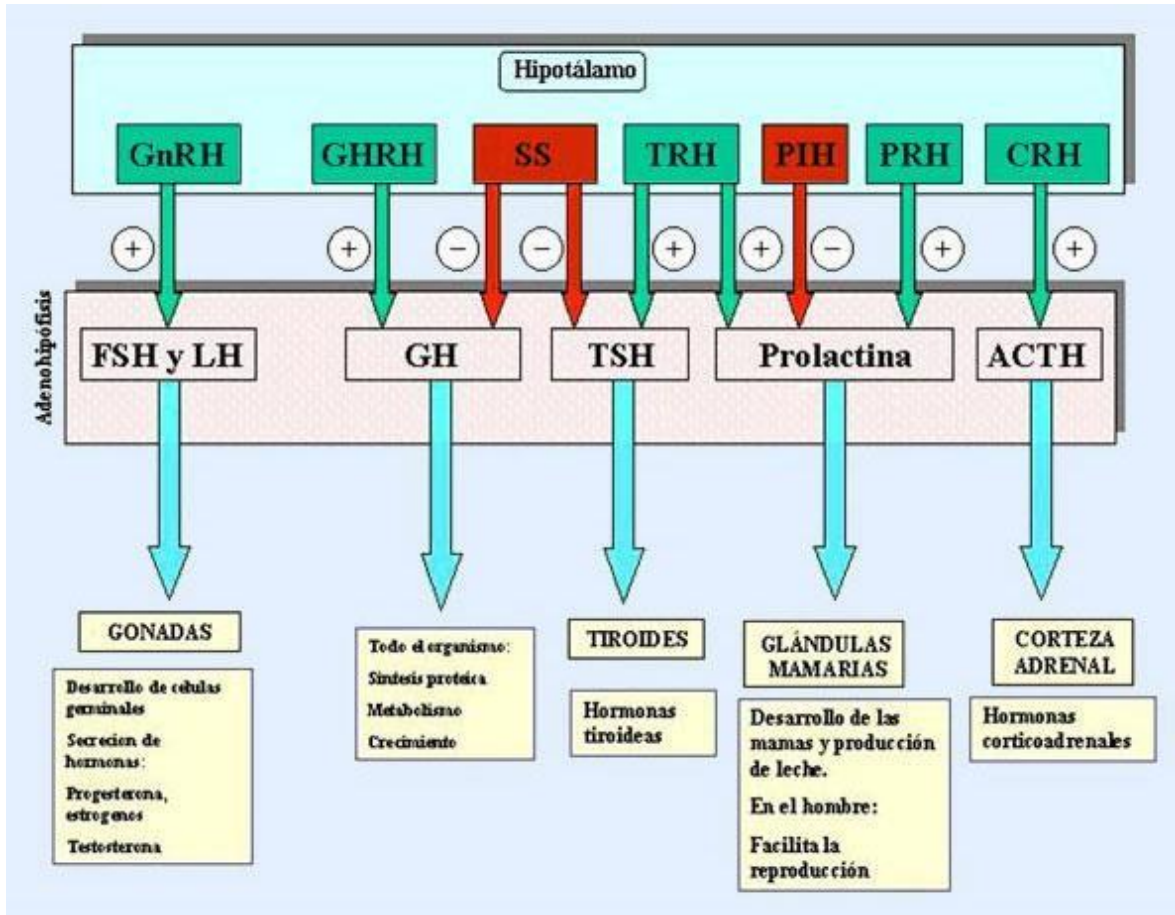


- La neurohormona hipotalámica (o *releasing hormone*) tendría como misión sacar al sistema de su estabilidad, como generar un ritmo o modificar la tasa de secreción al cambiar la etapa vital del individuo y además tienen acción trófica sobre las células hipofisarias y son, a su vez, reguladas por la hormona o por la acción biológica periférica.

2.3 Hormonas hipotalámicas

- Las hormonas hipotalámicas que regulan la función hipofisaria son las siguientes:
 1. *GHRH*. Hormona hipotalámica estimulante de la secreción de hormona del crecimiento (44 aminoácidos).
 2. *CRH*. Hormona hipotalámica estimulante de la secreción de adrenocorticotropina (41 aminoácidos).
 3. *TRH*. Hormona hipotalámica estimulante de la secreción de hormona tirotrópica (3 aminoácidos) y de prolactina (PRL), si bien no es el regulador fisiológico de esta última.

4. *Gn-RH*. Hormona hipotalámica liberadora de gonadotropinas (10 aminoácidos), también denominada LHRH.
5. *Somatostatina* (GHRH, SS, SRIF, 14 aminoácidos). Su función fisiológica más relevante es inhibir la liberación de hormona del crecimiento (GH), pero es capaz de inhibir la secreción de una gran variedad de hormonas.
6. *Dopamina*. Es una amina biogénica y su acción fisiológica es inhibir la secreción PRL.



2.4 Hormonas adenohipofisarias

- Las seis hormonas adenohipofisarias que dependen de la regulación hipotalámica son:
1. *GH*. Hormona del crecimiento u hormona somatotropa, de 191 aminoácidos. Actúa sobre receptores periféricos y sus funciones son promover el crecimiento somático y modular el metabolismo intermediario.

2. *PRL*. Prolactina, de 199 aminoácidos. Su función corporal es promover la producción de leche por la glándula mamaria.
3. *ACTH*. Hormona corticotropa o adrenocorticotropina, de 39 aminoácidos, cuya función es estimular la corteza suprarrenal.
4. *TSH*. Hormona tiroestimulante, estimulante del tiroides o tirotrona, de 201 aminoácidos. Estimula la liberación de hormonas tiroideas y el trofismo de los folículos tiroideos.
5. *LH*. Hormona luteinizante o luteostimulante, de 204 aminoácidos, estimula las células de Leydig en la gónada masculina y la función del cuerpo lúteo en la femenina.
6. *FSH*. Hormona foliculostimulante o estimulante del folículo, de 204 aminoácidos. Estimula el folículo de De Graaf en la gónada femenina y las células de Sertoli en la masculina.

2.5 Estudio de la hormona del crecimiento (GH)

- [SEP] La GH es la hormona mayoritaria de la adenohipófisis, siendo de naturaleza polipeptídica. La secreción de GH (1,4 mg/día en adultos) ocurre de manera fluctuante a lo largo del día, en descargas que duran 1-2 h, siendo una de las más características e importante la que ocurre durante el sueño profundo, siguiendo una ritmicidad circadiana.

1. Regulación de la secreción

- *Hipotálamo*. GHRH (estimulante) y somatostatina (inhibidora) de la secreción de GH, siendo más potente la influencia de la primera que la de la segunda. La somatostatina posee una multiplicidad de acciones centrales y periféricas, como la inhibición de la secreción hipofisaria de TSH y la inhibición de la secreción pancreática de insulina y glucagón.
- *Estímulos que provocan liberación de GH*. Consisten en una serie de estímulos de naturaleza estresante como la ansiedad, el dolor, el frío, la fiebre, también estímulos metabólicos como la hipoglucemia, la disminución de ácidos grasos libres, o el ejercicio físico y el sueño profundo.

2. Acciones fisiológicas de la GH

- [SEP] La GH actúa sobre diversos tejidos periféricos generando su acción biológica directamente o a través de un factor de crecimiento, el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-I), que es producido por el hígado tras la estimulación del mismo por la GH circulante. [SEP]

- Tanto la GH como su producto IGF-I cierran el circuito de regulación inhibiendo la secreción a nivel hipotalámico e hipofisario.^{[1][2]}
- En las etapas iniciales de la vida se produce un incremento en la secreción de GH estimulando el crecimiento en niños y adolescentes. Durante la edad adulta desarrolla efectos metabólicos. Aunque se va produciendo una reducción progresiva de la misma, llegando a etapas de la vejez con una casi ausencia de secreción de GH y niveles bajos de IGF-I.

3. Acciones metabólicas directas

- De forma muy resumida es una hormona anabólica, que estimula la síntesis proteica. Incrementa la captación de aminoácidos (sobre todo en hígado, músculo y tejido adiposo) y su incorporación a proteínas. Aumenta la síntesis de ADN y ARN, estimulando la división celular y permitiendo durante los periodos de crecimiento un aumento de la longitud de los huesos y de tamaño del resto del organismo.
- En el metabolismo de los glúcidos, es una hormona ahorradora de glucosa y antiinsulinica. Aumenta los niveles plasmáticos de glucosa disminuyendo la captación por parte de las células y aumentando la glucogenolisis en el hígado. En cuanto al metabolismo lipídico, incrementa la lipólisis en el tejido adiposo y la liberación de ácidos grasos libres al plasma proporcionando así un sustrato energético no glucídico a las células.

4. Acciones sobre el crecimiento

- ^{[1][2]}La principal acción de la GH es promover el crecimiento somático, manteniendo los tejidos en su tamaño adulto y estimulando el crecimiento lineal durante la infancia y adolescencia.
- ^{[1][2]}Sobre los huesos provoca el crecimiento longitudinal actuando sobre el cartílago de crecimiento. La acción sobre éste es dual; por una parte, la GH inicia la replicación de los condrocitos, los cuales en su proceso madurativo segregan IGF-1 y, al mismo tiempo, desarrollan los receptores para este factor de crecimiento. El crecimiento óseo es por tanto una acción desencadenada por la GH, pero luego conducida por el binomio GH más IGF-1. En el tejido muscular la GH promueve la incorporación de aminoácidos y la síntesis proteica, siendo por tanto anabólica y trófica sobre el mismo. Por el contrario, en el tejido adiposo, la GH promueve la lipólisis liberando glicerol y AGL.

2.6 Estudio de la prolactina (PRL)

- La PRL es la hormona que inicia y mantiene la lactación, producida por las células lactotropas de la adenohipófisis, con estructura molecular es muy similar a la de la GH y al igual que ella actúa sobre tejidos periféricos y no sobre otra glándula.
- Regulación de la secreción. La PRL es la única hormona hipofisaria que se halla sometida a un control negativo por el hipotálamo a través de una amina, la dopamina, la cual inhibe la liberación de PRL. La administración intravenosa de TRH libera PRL y la hipoglucemia insulínica estimula su secreción por un efecto estimulante hipotalámico. Como todas las hormonas hipofisarias, la secreción de PRL se produce en brotes o pulsos a lo largo del día y, de forma más acusada, por la noche, pero, a diferencia de la GH, la hipersecreción nocturna ocurre al comienzo de la noche y no se relaciona con etapas específicas del sueño. Otro factor que estimula la secreción de PRL es el estrés inespecífico, los estrógenos y la lactación.
- Acciones. Las acciones fisiológicas de la PRL sólo se consideran importantes en la mujer gestante o lactante. La PRL, durante el embarazo, prepara la lactación y, tras el parto, en una mama preparada por dosis adecuadas de estrógenos y progesterona, estimula la síntesis de proteínas específicas de la leche. Tras el parto y durante el amamantamiento, el estímulo de succión sobre el pezón produce una señal nerviosa que es transmitida por vía espinal hasta el hipotálamo, donde provoca una inhibición de la secreción de dopamina y la subsiguiente descarga de PRL para estimular la síntesis de las proteínas de la leche. Este estímulo provoca también una descarga de oxitocina que contrae los folículos mamarios para su eyección. Cuando la madre deja de amamantar, la ausencia de estímulo en el pezón provoca, en aproximadamente una semana, la pérdida de secreción de PRL, tras lo cual todo el sistema vuelve a la situación previa al parto.

2.7 Hormonas neurohipofisarias

- Las neuronas de los núcleos hipotalámicos supraóptico y paraventricular sintetizan dos péptidos de pequeño tamaño que son respectivamente la vasopresina o ADH y la oxitocina.

2.7.1 Oxitocina

- El principal estímulo para la secreción de esta hormona es la succión del pezón, los mecanorreceptores envían información sensorial que alcanza

a las neuronas del núcleo paraventricular provocan la liberación de la hormona en las terminales axónicas localizadas en la neurohipófisis. Su unión al receptor es estimulada por los estrógenos.


- Acciones hormonales:
- Estimula la contracción de las células mioepiteliales.
- Estimula la contracción del miometrio.
- Facilita el olvido de patrones de conducta.
- Estimula la secreción de prolactina.
- Estimula la secreción de ACTH.
- Disminuye la síntesis de testosterona.
- Controla la contractilidad de las fibras musculares del tracto genital masculino.

2.7.2 Vasopresina o ADH

- Péptido de nueve aminoácidos muy similar al anterior, sintetizado por las neuronas del núcleo supraóptico, siendo el principal estímulo para su secreción la disminución de volumen de los líquidos extracelulares o el aumento de la presión coloidosmótica del plasma.
- Acciones hormonales:
- Vasoconstricción.
- Redistribución del volumen sanguíneo.
- Estimulación de la reabsorción de agua en los túbulos renales.
- Estimulación de la secreción de ACTH.
- Activación de procesos de aprendizaje y memoria.

3. Glándula tiroides

3.1 Introducción

- Las hormonas de la glándula tiroides son esenciales para la correcta actividad metabólica del organismo. También cumplen otras importantes funciones, particularmente en el control del crecimiento y en el desarrollo del sistema nervioso.
-  La glándula está formada por dos lóbulos unidos por una banda denominada istmo tiroideo; presenta un color rojo debido a su elevada vascularización. Cada lóbulo está formado por muchos folículos tiroideos

rodeados por una densa red de capilares. Cada folículo está formado por una monocapa de células epiteliales rodeando una cavidad en la que son almacenadas las hormonas tiroideas como componentes de una proteína: la tiroglobulina.

3.2 Síntesis de hormonas tiroideas

- La glándula concentra de forma activa yodo en concentraciones 25 veces superiores a las del plasma. El yodo iónico es oxidado por una peroxidasa en el citoplasma de la célula folicular a yodo atómico que se incorpora mediante una yodinasa a los residuos del aminoácido tirosina pertenecientes a la proteína tiroglobulina. Esta gran proteína es sintetizada en las células foliculares y secretada a la cavidad folicular. Los residuos de tirosina se unen para formar las hormonas tiroideas en la superficie apical celular.
- MIT mono-iodo-tirosina (aa + I).
- DIT di-iodo-tirosina (aa + 2I).
- T3 (MIT+DIT) tri-iodo-tironina (2aa + 3I).
- T4 (DIT +DIT) tetra-iodo-tironina o tiroxina.
- Las hormonas principales son las dos últimas y su almacenamiento permite que las necesidades hormonales queden cubiertas durante 2-3 meses. Todos los pasos de la síntesis están estimulados por la hormona adenohipofisaria TSH, la cual también estimula su secreción.

3.3 Secreción y transporte de hormonas tiroideas

- El primer paso en la secreción consiste en la endocitosis de pequeñas cantidades de coloide folicular, que son unidos a lisosomas que degradan proteolíticamente a la tiroglobulina desprendiéndose las hormonas. La T3 y T4 difunden al plasma y MIT y DIT son desyodadas por un enzima la deyodinasa para poder reciclar tanto la tirosina como el yodo.^{[1][SEP]} La mayor parte de hormona circulante es T4 90% (50 veces más que T3 10%). Es transportada unida a proteínas plasmáticas principalmente (80%) globulina transportadora de T4 y en menor proporción prealbúmina y albúmina. Su vida media es de 7 días para T4 y 1 día para T3. Son degradadas en varios tejidos como el hígado o el músculo esquelético.

3.4 Acciones de las hormonas tiroideas

- ^{[1][SEP]} Al llegar a la célula diana, la T4 sufre una desyodación y puede convertirse en T3 que es la mayor hormona activa o en r T3 (reverse T3)

que es inactiva. La T3 se une a receptores específicos situados en el núcleo celular. Esta unión da lugar a la transcripción de mRNA de una serie de genes que codifican enzimas y proteínas estructurales.

1. **Termogénesis.** Estimulan el metabolismo oxidativo en todos los tejidos del cuerpo (excepto en encéfalo, pulmones y bazo) y por lo tanto incrementan la producción de calor. El incremento en la tasa metabólica basal después de una inyección de T4 comienza con una latencia de varias horas y puede durar 9 días o más. Esta acción es debida en parte al menos al aumento en la síntesis de Na/K ATPasa, y por tanto a la actividad de la bomba.
2. **Efectos sobre el crecimiento y desarrollo.** La deficiencia de hormona tiroidea en el feto produce cretinismo que se caracteriza por un menor crecimiento y un retraso mental severo. También es necesaria durante la infancia. T3 y T4 estimulan el crecimiento por un efecto directo sobre los tejidos y por su acción colaboradora con la GH.
3. **Efectos sobre el tejido nervioso.** Las hormonas tiroideas son esenciales para el proceso de mielinización y para el desarrollo del sistema nervioso durante la infancia. En la etapa adulta la carencia de hormonas tiroideas produce un enlentecimiento mental.
4. **Otros efectos.** Una producción excesiva de hormonas causa un incremento del volumen sistólico y taquicardia. Estos efectos son debidos a la acción directa y de forma secundaria por el incremento de la necesidad de oxígeno debido a la acción termogénica.

3.5 Control de la secreción

- Para una secreción normal se requiere una ingesta adecuada de yodo en la dieta. El estímulo principal es la TSH que estimula cada paso en la producción y secreción hormonal. Controla el tamaño y la vascularización de la glándula, si se elimina la hipófisis el tiroides se atrofia. A su vez las hormonas tiroideas ejercen una retroregulación negativa (feed-back negativo) sobre la adenohipófisis y sobre el hipotálamo.

3.6 Alteraciones de la función tiroidea

- El hipotiroidismo puede tener su origen en una alteración de la hipófisis, del tiroides o de un déficit de yodo en la dieta. El hipotiroidismo severo en los adultos es denominado mixedema, ya que da lugar a un engrosamiento en manos y cara debido a la acumulación de mucoproteínas en el tejido subcutáneo. Otros síntomas son la baja tasa

metabólica, bradicardia, intolerancia al frío, enlentecimiento físico y mental.

- El hipertiroidismo es debido a un exceso de producción de hormonas tiroideas y se caracteriza por una alta tasa metabólica, taquicardia, intolerancia al calor, hiperexcitabilidad, pérdida de peso, etc. una forma común de hipertiroidismo es la enfermedad de Graves que se caracteriza por protrusión de los globos oculares (exoftalmos) e hipertrofia del tiroides (bocio).
- El bocio se asocia a menudo con el hipertiroidismo, sin embargo puede también ser una manifestación de hipotiroidismo en el que se produce una respuesta compensatoria, incrementándose la TSH como ocurre con el bocio endémico debido a déficits de yodo o enfermedades del tiroides que cursan con menor producción o secreción hormonal.

4. Glándula suprarrenal

4.1 Introducción: estructura de las glándulas suprarrenales

- Estas glándulas se encuentran situadas en el polo superior del riñón, incluidas en la cápsula grasa del mismo. Su peso es de 10 gramos. Se encuentran rodeadas de una cápsula de tejido conectivo y en su interior se distingue:
 - *Corteza*. Ancha, constituye el 80-90% de la glándula.
 - *Médula*. Estrecha, constituye el 10-20% de la glándula.
 - La corteza tiene tres capas que de periferia a centro son las siguientes:
 - 1. **Capa glomerulosa**. Grupos irregulares y ovoideos de células separados por tejido conectivo donde transcurren vasos sanguíneos^{[1][2]}.
 - *Síntesis*: mineralcorticoides.
 - 2. **Capa fasciculada**. Es la capa intermedia y es la más ancha. Está formada por cordones de células separadas por tabiques de tejido conectivo.

Síntesis: glucocorticoides^{[1][2]}.

- 3. **Capa reticular**. Capa más interna y delgada formada por células más pequeñas que forman cordones anastomosados formando una red irregular^{[1][2]}.

Síntesis: Hormonas sexuales.

- La médula adrenal es un tejido que deriva del sistema nervioso simpático. Está formada por células muy apretadas rodeadas de anchos capilares y senos venosos. Las células corresponderían a neuronas simpáticas ganglionares y reciben el nombre de células cromafines por su color pardo. Responden a estímulos nerviosos procedentes de fibras simpáticas preganglionares liberando catecolaminas: adrenalina y noradrenalina.

4.2 Síntesis y secreción de hormonas corticoadrenales o corticosteroides

- ^[L]_[SEP] Todas las hormonas tienen como precursor común el colesterol, que bien puede ser sintetizado por las células adrenales o puede ser captado de la corriente sanguínea (LDL, lipoproteínas de baja densidad) y almacenado en el citoplasma de las células corticoadrenales como ésteres de colesterol en gotas lipídicas.
- La síntesis hasta el intermediario pregnenolona se realiza en la mitocondria, a partir de aquí en el retículo endoplásmico liso. Todo el proceso de síntesis es estimulado por la hormona adenohipofisaria ACTH (h. Adreno-corticotropa). ^[L]_[SEP] Las hormonas corticoadrenales no se almacenan y su tasa de síntesis se corresponde directamente con su tasa de secreción. Para el cortisol unos 20mg/día y para la aldosterona unos 0,2 mg/día.

4.2.1 Transporte e inactivación

- Como son compuestos de naturaleza lipídica son transportados en sangre unidos a proteínas. La más importante es la globulina fijadora de corticosteroides o transcortina a la que se une el 90% del cortisol y el 60% de la aldosterona. En menor proporción la albúmina también transporta estas moléculas. La ventaja que supone este sistema de transporte es que por un lado constituye un sistema de reserva o depósito de hormona y también que se evita su rápida degradación.
- ^[L]_[SEP] La vida media en sangre del cortisol es de aproximadamente 1 hora y de la aldosterona unos 20 minutos.
- ^[L]_[SEP] La inactivación se realiza a nivel hepático mediante conjugación con ácido glucurónico o sulfato y su posterior excreción se realiza en la orina.

4.3 Glucocorticoides

- De todos los glucocorticoides el más importante es el cortisol. Interviene en el metabolismo de los principios inmediatos, mediante el incremento

de la síntesis de enzimas. Tiene una acción permisiva para la actividad hormonal de GH, ADH, adrenalina, angiotensina II.

1. **Efectos sobre el metabolismo intermediario**

- Estimula la glucogénesis: hígado.
- En situación de ayuno estimula la gluconeogénesis, utilizando como sustrato principalmente aminoácidos procedentes del catabolismo proteico.
- Hiperglucemiante: disminuye la entrada de glucosa a nivel del músculo y del tejido adiposo.
- Estimula la movilización de ácidos grasos al aumentar la lipólisis.

2. **Efectos sobre el aparato circulatorio** ^[L]_[SEP] **Son esenciales para el funcionamiento normal de este aparato**

- Aumentan la contractilidad miocárdica.
- Aumentan la resistencia vascular.
- Disminuyen la permeabilidad del endotelio.
- Mantienen la presión arterial actuando sinérgicamente con las catecolaminas.

3. **Adaptación al estrés**

- ^[L]_[SEP] En situaciones de estrés causado por calor, frío, hipoglucemia, ansiedad, hemorragia, etc. se produce un incremento en la secreción de cortisol ^[L]_[SEP].

4. **Efecto mineralcorticoide**

5. **Efectos sobre el sistema inmune**

- ^[L]_[SEP] Disminuye la respuesta inmune mediante la disminución del número de linfocitos e eosinófilos circulantes. También disminuye la actividad del timo y de los nódulos linfáticos y la respuesta frente a antígenos. Es por ello que se utilizan terapéuticamente como inmunosupresores.

6. **Acción antiinflamatoria**

- ^[L]_[SEP] Estabilizan las membranas de los lisosomas y disminuyen la formación de mediadores de la inflamación como las bradicininas y los efectos de la histamina.
- Potencian el efecto vasoconstrictor de la adrenalina y noradrenalina.

4.3.1 Control de la secreción de glucocorticoides

- La secreción de cortisol y corticosterona está controlada por ACTH (hormona adenohipofisaria), que a su vez está bajo el control del péptido hipotalámico CRH y también de ADH. El cortisol ejerce una retroalimentación negativa tanto sobre adenohipófisis como sobre hipotálamo. La concentración de cortisol en plasma presenta oscilaciones circadianas, encontrándose los niveles más altos en las primeras horas de la mañana, antes de despertarse. Estas oscilaciones se relacionan con el ciclo actividad/descanso. El estrés incrementa la secreción de cortisol.
- 4.4 Mineralcorticoides
- El principal es la aldosterona que actúa a nivel de los túbulos distales de la nefrona. Su principal efecto es aumentar la reabsorción de Na^+ intercambiándolo con K^+ o H^+ .
- Un exceso de aldosterona causa una reabsorción excesiva de sodio que se acompaña de agua y genera un incremento de volumen extracelular e hipertensión. Un déficit genera la situación contraria pudiendo provocar una hipotensión severa que llegue a la muerte.

4.4.1 Control de la secreción de mineralcorticoides

- El regulador principal de la secreción de aldosterona no es la ACTH, sino la angiotensina II, producida por el sistema renina-angiotensina. También un incremento de la concentración de K^+ en plasma estimula la liberación de aldosterona.

4.5 Hormonas sexuales

- En la capa reticular se secretan pequeñas cantidades de andrógenos, fundamentalmente DHA (dehidroepiandrosterona) y la androstenediona que tienen una acción androgénica débil; en el varón apenas tiene efecto y se transforman en testosterona en los tejidos periféricos, en la mujer la mayor parte de testosterona circulante proviene de la corteza suprarrenal y sirve para mantener caracteres sexuales secundarios (vello axilar, vello púbico)^{[1][SEP]}.

4.5.1 Médula adrenal

- Las células cromafines provienen de neuronas simpáticas postganglionares. La sangre que atraviesa la corteza irriga la médula y los corticosteroides regulan la síntesis de las catecolaminas medulares. La secreción de catecolaminas aumenta en respuesta a una situación de

emergencia y actúan rápidamente para mantener la homeostasis, esta reacción se complementa con la activación de la corteza.

4.5.2 Síntesis de las catecolaminas

Tirosina → Dopa → Dopamina → Noradrenalina → Adrenalina

- El 80% de las catecolaminas almacenadas en los gránulos cromafines son moléculas de adrenalina. La secreción es estimulada por dolor, excitación, ansiedad, hipoglucemia, frío, etc.; a través de fibras simpáticas y son liberadas por exocitosis. Su vida media es de 1 a 3 minutos lo que hace que sus acciones cesen rápidamente una vez terminado el estímulo.

4.5.3 Acciones de las catecolaminas

- Depende de los receptores α y β que posean las células diana, que son casi todas las células del organismo. A nivel metabólico, la adrenalina es una hormona hiperglucemiante (estimula en el hígado la glucogenolisis y la gluconeogénesis) y tiene una gran acción lipolítica.
- *Sobre el sistema cardiovascular:* aumentan la frecuencia cardíaca, la fuerza de contracción. A nivel vascular la adrenalina incrementa el flujo sanguíneo a nivel de músculo esquelético, corazón e hígado lo que garantiza el aporte de sustratos para la producción de energía necesaria para los órganos vitales y el músculo en ejercicio.

5. Páncreas endocrino

5.1 Introducción: estructura del páncreas endocrino

- El páncreas es una glándula exocrina y endocrina. Las células endocrinas del páncreas se localizan en los islotes de Langerhans que constituyen tan sólo el 2% de la masa pancreática. Existen dentro del islote cuatro tipos de células que dan lugar a las siguientes hormonas:
- 20% células A (α): glucagón (periféricas)
- 70% células B (β): insulina y amilina (centrales)
- 10% células D (δ): somatostatina
- + células F: polipéptido pancreático.

5.2 Insulina

- Es una pequeña proteína con dos cadenas peptídicas A y B de 21 y 30 aminoácidos. Se sintetiza como una cadena única que recibe el nombre de preproinsulina, la cual es rota para dar una cadena más corta con

dos enlaces intracatenarios mediante puentes disulfuro, esta molécula se denomina proinsulina. Es almacenada en gránulos de secreción y convertida en insulina mediante la separación de una parte de la cadena que se denomina péptido C.

- La insulina es secretada mediante exocitosis en respuesta a un incremento de glucosa en sangre, se secreta a la vena porta hepática alcanzando el hígado directamente. Su vida media es de sólo unos 10 minutos.

5.2.1 Acciones de la insulina

- La insulina es hipoglucemiante, disminuye el nivel de gluosa en sangre favoreciendo su entrada en músculo y tejido adiposo e inhibiendo la liberación de glucosa del hígado.
- *Hígado*. Estimula la síntesis de glucógeno y de lípidos e inhibe la glucogenolisis y la cetogénesis.
- *Músculo*. Estimula la entrada de glucosa y aminoácidos y la síntesis de glucógeno y de proteínas.
- *Tejido adiposo*. Estimula la entrada de glucosa y la síntesis de triglicéridos o lipogénesis.
- También incrementa la entrada de K^+ a las células y por lo tanto desciende su concentración plasmática.
- La unión de la insulina a sus receptores de membrana desencadena múltiples cambios metabólicos y afecta a la expresión de muchos genes. El receptor insulínico está formado por dos subunidades que fijan la hormona y otras dos que tienen actividad enzimática, poniendo en marcha una cascada metabólica de control de muchos enzimas clave de rutas metabólicas. Una de las respuestas más rápidas es la entrada incrementada de glucosa que se logra mediante la translocación de transportadores de glucosa desde un almacén intracelular a la membrana celular. La insulina es capaz también de regular la cantidad de sus propios receptores estimulando la endocitosis y degradación de los mismos y participando de esta forma en disminución de la sensibilidad a la insulina asociada con la obesidad.

5.2.2 Control de la secreción de insulina

- Un incremento en la concentración de glucosa en plasma es el principal estímulo para la secreción de insulina. Hay una fase inicial rápida de secreción debida al vaciado de los gránulos de almacenamiento y una

segunda fase más lenta debido a la secreción de hormona de nueva síntesis. Algunos aminoácidos como la arginina y leucina son también potentes estimuladores. Después de la ingesta, la insulina aumenta en sangre incluso antes de que haya elevación de glucemia (mecanismo anticipatorio), debido a una de las acciones de una hormona gastrointestinal IIG, péptido inhibidor gástrico que estimula la liberación de insulina. Otros estímulos para la secreción son el glucagón. La adrenalina y la somatostatina inhiben la liberación de insulina. El sistema simpático inhibe a estas células y el parasimpático las estimula.

5.3 Glucagón

- Es un polipéptido de 29 aminoácidos secretado por el páncreas en respuesta a un descenso de la glucemia. En contraposición con la insulina su efecto es hiperglucemiante. Actúa sobre el hígado estimulando la glucogenolisis y la gluconeogénesis. La secreción de glucagón es estimulada por aminoácidos. Este sistema asegura que cuando hay una alta ingesta de aminoácidos el incremento de insulina generado no provoca una fuerte caída en la glucosa. El glucagón es un potente estimulador de la movilización de lípidos.

5.3.1 Amilina

- Es almacenada en las células B, junto a la insulina y es liberada con ésta en respuesta a una entrada de nutrientes. Es un potente inhibidor del vaciamiento gástrico probablemente a través de un mecanismo neural.

5.3.2 Somatostatina

- Es un péptido sintetizado también por neuronas hipotalámicas y por células endocrinas de la mucosa intestinal. Inhibe la secreción tanto de insulina como de glucagón.

5.4 Regulación del almacenamiento energético

- El encéfalo utiliza la glucosa como fuente energética casi exclusiva, siendo por lo tanto necesario mantener sus valores en sangre para evitar convulsiones o un coma. La glucemia se mantiene normalmente entre 4-6 mmol/l (80-120 mg/100 ml), debido a las interacciones de varias hormonas: insulina, glucagón, GH, adrenalina y cortisol. La insulina disminuye la glucemia y las otras cuatro suben la glucemia. Durante el estado absortivo (después de una comida), hay cantidades elevadas de glucosa y la liberación de insulina aumenta la utilización de este sustrato y su almacenamiento como glucógeno o lípidos. Durante el estado postabsortivo o estado de ayuno, la insulina desciende y aumentan las

otras hormonas. La relación insulina/glucagón es probablemente el factor más importante en el control de ambos estados. Así se asegura que durante el ayuno se mantienen los niveles de glucosa adecuados para el cerebro, primero mediante la glucogenolisis, luego mediante gluconeogénesis y mediante la disminución del gasto de glucosa por parte de otros tejidos.

5.4.1 Efectos de la deficiencia en insulina

- La diabetes mellitus es un grave problema sanitario. Existen dos tipos de diabetes: la diabetes insulino-dependiente o diabetes juvenil y la diabetes no insulino-dependiente o diabetes del adulto.
- La carencia de insulina produce un incremento de glucosa y cuerpos cetónicos en plasma, y la pérdida de estos solutos a través de la orina arrastra agua (diuresis osmótica) dando lugar a un aumento del volumen de orina (poliuria) y de la sed (polidipsia). La pérdida de volumen plasmático da lugar a una hipotensión que puede llevar aparejado una disminución de flujo sanguíneo cerebral que lleve al coma y a la muerte.

6. Metabolismo fosfo-cálcico y óseo

6.1 Introducción

- En los mamíferos el tejido endocrino encargado de la regulación del metabolismo fosfocálcico está situado en la región de la glándula tiroidea. Las glándulas paratiroides se sitúan en la cara dorsal de los lóbulos tiroideos y secretan hormona paratiroidea. Las células C o parafoliculares se encuentran en el tiroides (en el exterior de los folículos) y secretan una hormona que es la calcitonina. En último lugar está un metabolito activo de la vitamina D, denominado calcitriol o bien hormona D que se produce en los riñones.

6.2 Metabolismo del Calcio

- El calcio es uno de los iones más importantes del organismo y cumple una gran cantidad de funciones entre las más importantes:
 1. Mantiene la permeabilidad de las membranas^{[1][2]}_[SEP].
 2. Mantiene la excitabilidad del nervio y del músculo^{[1][2]}_[SEP].
 3. Es necesario en los procesos de secreción: neurotransmisores, hormonas, exocitosis, etc.^{[1][2]}_[SEP].
 4. Contracción muscular^{[1][2]}_[SEP].
 5. Formación del esqueleto^{[1][2]}_[SEP].

6. Coagulación sanguínea.
7. Actividad de muchas enzimas^{[1][2]}_[SEP].
 - La concentración de calcio extracelular o plasmática es un parámetro bien controlado cuyo valor es de 2,4 mmol/litro con una variación de 2,1 a 2,6 mmol/litro. De esta cantidad, casi la mitad se encuentra como calcio iónico, la otra mitad está unido a proteínas plasmáticas y una cantidad mínima está unido a aniones como citrato, bicarbonato, fosfato, etc.

6.3 Metabolismo del fósforo

- El fósforo también cumple funciones importantes dentro del organismo:
 1. Forma parte del esqueleto.
 2. Funciona como un sistema tampón o amortiguador, principalmente intracelular y urinario.
 3. Es un componente básico de los compuestos de alta energía: ATP, etc.
 4. Forma parte de metabolitos intermediarios, cofactores, activación enzimática, etc.
- El fósforo se encuentra en plasma en forma de fosfato inorgánico en concentraciones de 1 mmol/litro y también unido a una gran cantidad de compuestos orgánicos, lípidos, nucleótidos, etc.

6.4 Órganos que participan en el control de la calcemia y fosfatemia

1. *Hueso*

- Aproximadamente el 99% del calcio corporal se localiza en el hueso y cerca del 80% del fósforo también está en el hueso. El hueso está formado por una matriz orgánica de colágeno, mucopolisacáridos y otras proteínas sobre las que depositan cristales de unas sales complejas de calcio y fosfato similares a la hidroxapatita, también está presente una forma más amorfa de fosfato cálcico y pequeñas cantidades de sodio, magnesio, cloro y flúor.
- Los tres tipos principales de células intervienen en la formación y resorción del hueso, los osteoblastos sintetizan colágeno y promueven el depósito de sales cálcicas, los osteoclastos son responsables de la resorción del hueso. La destrucción del hueso depende de la destrucción del colágeno por enzimas lisosomales y por fagocitosis. Los osteocitos son las células más numerosas, provienen de los osteoblastos, una vez que han

sido rodeados por matriz calcificada. Tienen un papel muy relevante en el intercambio de calcio entre el líquido extracelular y el hueso, siendo esta función controlada por hormonalmente. Tan sólo el 1% del calcio y fosfato óseo está en equilibrio con el líquido extracelular debido a la actividad de los osteocitos constituyendo una especie de amortiguador o bufer para controlar las modificaciones a corto plazo de calcemia y fosfatemia; el otro 99% sólo es accesible mediante resorción osteoclástica cuando se desarrolla la remodelación del hueso, y también está controlado hormonalmente.

2. *Tracto gastrointestinal*

- Es el sistema de absorción, en una dieta estándar se ingieren diariamente alrededor de 25 mmol (1g) , en su mayor parte den forma de fosfato cálcico, procedente en su mayoría de productos lácteos. La absorción intestinal neta de calcio depende de las necesidades nutricionales. Se realiza en el duodeno y mediante transporte activo. Los factores que incrementan su absorción son: vitamina D, la presencia de fosfatos orgánicos, el pH ácido. Los factores que disminuyen su absorción son: la presencia de oxalatos y fosfatos inorgánicos, las bases.

3. *Riñón*

- Es el punto donde se realiza la excreción. La excreción urinaria es importante en la homeostasis del calcio y está controlada hormonalmente de la misma forma que la excreción de fosfatos.

6.5 **Hormona paratiroidea (Parathormona , PTH)**

1. *Glándulas paratiroides*

- Son cuatro pequeñas glándulas, con un peso de 30.50 mg, situadas en la cara posterior del tiroides . Rodeadas de una cápsula fibrosa que se continua formando tabiques en el interior que separan cordones de células, unas denominadas principales, las más abundantes que sintetizan y secretan la hormona, y un segundo tipo, las oxífilas, más grandes y menos abundantes, que son células inactivas hormonalmente. La hormona se sintetiza y secreta en forma de preprohormona, una vez secretada es convertida en hormona activa por eliminación de fragmentos en hígado y riñón. Se transporta libremente en sangre y su vida media es de 20-30 minutos.

2. Control de la secreción

- Está regulada por la concentración de calcio iónico en plasma, una disminución (hipocalcemia) da lugar a un incremento en la secreción, y un aumento (hipercalcemia) produce una disminución de la secreción. Un aumento de fosfato (hiperfosfatemia) incrementa la secreción de la hormona

3. Acciones de la hormona paratiroidea

- Su principal acción es elevar la concentración de calcio en plasma y disminuir la de fosfato. Actúa directamente sobre hueso y riñón, e indirectamente sobre el tracto gastrointestinal.
- Sobre el hueso, aumenta la actividad de osteocitos y osteoclastos, incrementa la resorción u osteolisis y disminuye la formación u osteogénesis. Importante este mecanismo para la regulación a largo plazo. Para realizar esta acción se necesita la participación de la hormona D.
- Sobre el riñón tiene un efecto más importante en la regulación a corto plazo. Incrementa la reabsorción tubular de calcio y disminuye la reabsorción de fosfato, esta disminución de fosfato en plasma favorece la liberación de calcio del hueso e impide el depósito de fosfato cálcico, al carecer de fosfato. En este órgano tiene otra acción que es estimular la formación de la hormona D. Sobre el tracto gastrointestinal, se incrementa la absorción, pero este efecto se realiza a través de la hormona D.

6.6 Vitamina D

- La vitamina D es esencial para el correcto desarrollo del hueso, una carencia da lugar en los niños a raquitismo y en los adultos a osteomalacia. Es un esteroide ingerido en la dieta como vitamina D3 (colecalfiferol, procedente de animales) o como vitamina D2 (ergocalciferol, procedente de vegetales). También puede sintetizarse en la piel por acción de la radiación ultravioleta sobre un precursor, el 7-dehidrocolesterol.
- La vitamina D es una prohormona que ha de pasar a través de una reacción en el hígado que la convierte en 25-hidroxicolecalciferol (25-hidroxivitamina D) y el riñón que la convierte en 1,25 dihidroxicolecalciferol (1,25dihidroxivitamina D o calcitriol) hormona activa. La enzima renal que cataliza esta reacción es estimulada por la

PTH y por hipocalcemia e hipofosfatemia. Si las concentraciones de calcio y fosfato son normales, la mayor parte de la vitamina D se transforma en el riñón en compuestos inactivos (24,25 dihidroxi ó 1,24,25 trihidroxiderivados).

6.6.1 Acciones del calcitriol

- Actúa sobre el intestino delgado favoreciendo la absorción de calcio y de fosfato. Facilita la mineralización ósea, incrementando la concentración de calcio y de fosfato en el líquido extracelular, es indispensable para un correcto crecimiento armónico del hueso.

6.7 Calcitonina

- La calcitonina es un polipéptido sintetizado en las células C o parafoliculares del tiroides. El principal estímulo para su secreción es el incremento de calcio en plasma (hipercalcemia).

6.7.1 Acciones de la calcitonina

- A nivel del hueso inhibe a los osteoclastos, disminuyendo la resorción ósea a nivel renal, incrementa la pérdida de calcio y fosfato por orina disminuyendo su reabsorción tubular.

7. Sistema reproductor

7.1 Diferenciación sexual

- El sexo genético depende de la dotación de cromosomas sexuales, en el caso femenino XX y el masculino XY, y viene estipulado ya desde el momento de la fecundación. En los humanos hasta la sexta semana de vida fetal las gónadas son indiferentes, a partir de este momento comienza la diferenciación gonadal en ovarios o testículos. En el caso masculino, la presencia de un gen en el cromosoma Y da lugar a la diferenciación de las gónadas en testículos; en el caso femenino la ausencia de este gen da lugar a la diferenciación de las gónadas en ovarios. En este estadio, el feto presenta unos conductos genitales primordiales comunes (conductos de Wolff y conductos de Müller). En el feto masculino la testosterona secretada por los testículos da lugar a que se desarrollen los conductos de Wolff para dar lugar a los genitales internos y la formación de una hormona peptídica denominada hormona inhibidora de los conductos de Müller da lugar a la involución de los mismos. En el feto femenino la ausencia de estas hormonas da lugar al desarrollo de los genitales internos femeninos.

- El desarrollo de los genitales externos se produce de igual forma por la presencia o ausencia de las hormonas mencionadas. Después del nacimiento el desarrollo sexual permanece detenido hasta la pubertad, en este momento los órganos reproductores se activan por estimulación de las gonadotrofinas incrementadas debido a la maduración del eje hipotálama-hipofisario. La pubertad coincide con el crecimiento del cuerpo y la aparición de los caracteres sexuales secundarios; se inicia alrededor de los 11 años para las niñas y de 12 años para los niños, aunque presenta una gran variabilidad dependiendo de factores genéticos y ambientales. La madurez sexual viene marcada por la menarquia o primer sangrado menstrual en las niñas y por la primera eyaculación en los niños. Alrededor de los 50 años se produce en las mujeres la menopausia: los ovarios dejan de responder a las gonadotrofinas y los ciclos sexuales y la menstruación cesan gradualmente y desaparecen. En el caso de los varones la producción de células germinales y testosterona continua, aunque va disminuyendo gradualmente.

7.2 Sistema reproductor masculino

- Los órganos reproductores primarios o gónadas son los testículos, encargados de formar espermatozoides (espermatogénesis) y de secretar hormonas sexuales masculinas o andrógenos. Además, están los órganos reproductores secundarios o accesorios (conductos) y las glándulas secretoras. Pocas semanas antes del nacimiento los testículos pasan de la cavidad abdominal al saco escrotal; un fallo en este descenso (criptorquidia) puede dar lugar a infertilidad, ya que los testículos requieren para la espermatogénesis una temperatura unos 2°C inferior a la corporal. El escroto dispone de fibras musculares que pueden contraerse o relajarse acercando o alejando los testículos del cuerpo con el objeto de regular la temperatura.

7.2.1 Espermatogénesis

- Los espermatozoides se producen en los túbulos seminíferos de los testículos. Estos túbulos están formados por las células germinales y las células de Sertoli rodeando a las primeras y proporcionándoles un medio ambiente con los nutrientes adecuados y factores de estimulación, de ahí que estas células reciban el nombre de células niñera. Tienen uniones estrechas entre ellas formando una barrera (barrera hematotesticular) entre el medio extracelular o sanguíneo y el medio donde se desarrollan las células germinales.

- En la pubertad en respuesta a las gonadotrofinas se inicia la espermatogénesis. Las células germinales primitivas se denominan espermatogonias y se dividen para dar lugar a los espermatocitos primarios los cuales inician la primera división meiótica para formar los espermatocitos secundarios, los cuales contienen ya un número haploide de cromosomas, la segunda división meiótica da lugar a las espermatidas, éstas se diferencian para formar los espermatozoides. Todo el proceso dura aproximadamente 70 días. Todos los días inician este proceso unos dos millones de espermatogonias y como cada una da lugar a 64 espermatozoides, diariamente se producen unos 128 millones de espermatozoides.
- ^[SEP] Los espermatozoides que son liberados al interior de los túbulos seminíferos son inmaduros, no tiene movilidad y son incapaces de fertilizar al óvulo, necesitan un proceso de maduración. Este proceso y su posterior almacenamiento se desarrolla en el epidídimo donde permanecen viables varios meses. Si no hay eyaculación son eliminados por las células fagocíticas del epidídimo. ^[SEP] El espermatozoide maduro posee una morfología típica donde se describen una cabeza donde está el núcleo con una vesícula denominada acrosoma donde se sitúan enzimas líticos que permitirán al espermatozoide atravesar las cubiertas externas del óvulo.
- Durante la estimulación sexual, las contracciones del músculo liso que rodea los conductos impulsan los espermatozoides a través del epidídimo. En la eyaculación, los espermatozoides son expulsados por el conducto deferente y a continuación por la uretra. ^[SEP] Las vesículas seminales secretan un líquido rico en fructosa, citrato, prostaglandinas y fibrinógeno nutritivo para los espermatozoides eyaculados. Las prostaglandinas presentes en el líquido seminal pueden ayudar a la fecundación de dos maneras:
 - a) Reaccionan con el moco cervical y lo hacen más permeable al espermatozoide.
 - b) Inducen contracciones peristálticas en el conducto reproductivo femenino (es decir, útero y trompas de Falopio) para impulsar el espermatozoide a través del conducto.
- La glándula prostática añade su propia secreción ligeramente alcalina, lo que incremento la motilidad del espermatozoide y ayuda a la fecundación al neutralizar las secreciones ácidas del conducto deferente y la vagina. En conjunto, las secreciones combinadas de las

glándulas sexuales accesorias constituyen 90% del volumen del semen y los espermatozoides representan el 10% restante.

- Los espermatozoides eyaculados no pueden fecundar al óvulo de inmediato: deben residir en el conducto reproductivo femenino cuatro a seis horas para que ocurra la capacitación.

7.2.2 Síntesis y secreción de testosterona

- La testosterona, principal hormona androgénica, es sintetizada y secretada en las células de Leydig o células intersticiales de los testículos. Las vías sintéticas son similares a las descritas para la corteza suprarrenal, aunque con dos diferencias importantes:
 - a) Los testículos carecen de unas enzimas que les impiden sintetizar glucocorticoides o mineralocorticoides.
 - b) Los testículos poseen una enzima adicional, que convierte la androstenediona en testosterona.
- La testosterona no es activa en todos los tejidos efectores androgénicos. En algunos tejidos efectores, la testosterona se convierte en dihidrotestosterona.
- Un 98% de la testosterona circulante se encuentra unida a proteínas plasmáticas como globulina y albúmina^[L]_{SEP}].

7.2.3 Regulación de la función testicular

- El eje hipotálamo-hipófisis controla las dos funciones de los testículos espermatogénesis y secreción de testosterona. ^[L]_{SEP}]La FSH activa la espermatogénesis y la función de las células de Sertoli. La LH estimula las células de Leydig para sintetizar testosterona. La testosterona, secretada por las células de Leydig, tiene funciones locales en los testículos y sobre otros tejidos efectores. En los testículos, la testosterona difunde desde las células de Leydig hasta las células de Sertoli cercanas, donde refuerza la acción espermatogénica de la FSH. Fuera de los testículos, la testosterona es liberada a la circulación general.

1. 7.2.3.1 Retroalimentación negativa

- En el hombre, un circuito de retroalimentación negativa controla el eje hipotálamo-hipófisis; este circuito tiene dos vías. En la primera vía, la testosterona misma retorna al hipotálamo y la hipófisis donde inhibe la secreción de GnRH y LH. En la segunda vía, las células de Sertoli secretan una sustancia denominada inhibina. Esta es una glucoproteína que constituye el inhibidor de la secreción de FSH.

7.2.4 Acciones de los andrógenos

- La acción de los andrógenos empieza con la unión a una proteína receptora de andrógeno.
- La testosterona se encarga de la diferenciación fetal del pene, escroto y próstata; conducto deferente y vesículas seminales. En la pubertad, incrementa la masa muscular y provoca el brote de crecimiento puberal, cierre de las placas epifisarias crecimiento del pene y vesículas seminales, engrosamiento de la voz, espermatogénesis y libido.
- La dihidrotestosterona se encarga de la diferenciación fetal del pene, escroto y próstata; distribución del pelo y patrón de calvicie masculinos; actividad de las glándulas sebáceas; y crecimiento de la próstata.

7.3 Sistema reproductor femenino

- Las gónadas femeninas son los ovarios que, junto con el útero y las trompas de Falopio (oviductos), constituyen el conducto reproductivo femenino. Los ovarios, análogos de los testículos en el hombre, tienen dos funciones: oogénesis y secreción de las hormonas esteroides sexuales femeninas, progesterona y estrógeno.
- El ovario tiene tres zonas: corteza, médula e hilio. La corteza es la zona más extensa y externa. Está revestida por epitelio germinal y contiene todos los oocitos, cada uno encerrado en un folículo. Los folículos ováricos se encargan también de la síntesis de hormonas esteroideas.
- Localmente, en los ovarios, las hormonas esteroides ováricas actúan para apoyar el desarrollo del óvulo. Sistémicamente, las hormonas esteroides ováricas actúan sobre varios tejidos efectores, incluyendo útero, mamas y hueso.
- La unidad funcional de los ovarios es el folículo ovárico simple que contiene una célula germinal rodeada por células endocrinas.

7.3.1 Oogénesis

- En los ovarios del feto femenino, las células germinales primordiales producen oogonias por divisiones mitóticas hasta las semanas 20 a 24 de la gestación. En ese momento hay aproximadamente 7 millones de oogonias. Al comienzo de las semanas octava a novena gestacionales, algunas de estas oogonias entran a la profase de la meiosis y se convierten en oocitos primarios. Los procesos meióticos continúan hasta casi seis meses después del nacimiento y en ese punto todas las oogonias se han convertido en oocitos. Estos últimos permanecen en un estado de

profase suspendida; la primera división meiótica no concluye en tanto no ocurra la ovulación muchos años después. Simultáneamente, hay desgaste de oocitos. Al nacimiento, sólo permanecen 2 millones de oocitos; en la pubertad sólo persisten 400 000 oocitos. En la menopausia (que marca el fin del periodo reproductivo) pocos oocitos sobreviven, si acaso alguno. El desarrollo de los folículos ováricos ocurre en las siguientes etapas:

1. **Primera etapa**

- La primera etapa del desarrollo folicular es paralela a la profase del oocito. Por lo tanto, la primera etapa del folículo ovárico dura muchos años. A medida que crecen los oocitos primarios, las células de la granulosa proliferan y proporcionan al oocito nutrientes y hormonas esteroides. Durante esta etapa, el folículo primordial se desarrolla en un folículo primario, las células de la teca interna se desarrollan y las células de la granulosa comienzan a secretar líquido. Ningún folículo progresa más allá de esta primera etapa en ovarios prepúberes.

2. **Segunda etapa**

- La segunda etapa del desarrollo folicular se desarrolla con mucha mayor rapidez. Esta etapa tiene lugar en un periodo de 70 a 85 días. Durante cada ciclo menstrual, unos pocos folículos entran a esta secuencia. En la región central del folículo denominada antro se acumula un líquido que contiene hormonas esteroides, mucopolisacáridos, proteínas y FSH. Las hormonas esteroides alcanzan el antro por secreción directa de las células granulosas. Las células del granuloso y de la teca continúan creciendo dando lugar a un folículo maduro que al final de la segunda etapa se llama folículo de Graaf y posee un diámetro promedio de 2-5 mm.

3. **Tercera etapa**

- La tercera etapa y final del desarrollo folicular es la más rápida; ocurre cinco a siete días después de la menstruación. Un solo folículo de Graaf alcanza dominancia sobre sus acompañantes y estos últimos involucionan. Antes de 48 horas el folículo dominante crece hasta alcanzar 20 mm de diámetro. En el día 15 del ciclo menstrual de 28 días ocurre la ovulación y el folículo dominante se rompe y libera su oocito en la cavidad peritoneal. En este momento concluye la primera división meiótica y el oocito secundario resultante entra a la trompa de Falopio cercana, donde comienza la segunda división meiótica. Si hay fecundación por un espermatozoide la segunda división meiótica

concluye en la trompa de Falopio produciendo el óvulo haploide con 23 cromosomas.

- Lo que queda del folículo forma el cuerpo lúteo. Este se compone principalmente de células granulosas, pero también de células tecales, capilares y fibroblastos. El cuerpo lúteo sintetiza y secreta hormonas esteroides necesarias para la implantación y mantenimiento del cigoto cuando hay fecundación hasta que la placenta asuma su papel. Si no hay fecundación, el cuerpo lúteo involuciona en los siguientes 14 días (segunda mitad del ciclo menstrual) y una cicatriz conocida como cuerpo blanco lo sustituye.

7.3.2 Síntesis y secreción de estrógenos y progesterona

- Las hormonas esteroides ováricas, progesterona y estradiol, se sintetizan en el folículo ovárico mediante las funciones combinadas de las células granulosas y tecales. En los ovarios están presentes todos los pasos de la vía de biosíntesis. La progesterona y el estradiol se sintetizan de la manera siguiente. Las células tecales sintetizan y secretan progesterona. Las células tecales también sintetizan testosterona; esta última se difunde desde las células tecales hasta las células granulosas cercanas, que contienen aromatasa. En las células granulosas la testosterona se convierte en estradiol. La FSH y LH tienen funciones propias en el proceso de biosíntesis. La LH estimula el primer paso de la vía de biosíntesis. La FSH activa la aromatasa en las células granulosas, último paso de la síntesis de estradiol.

7.3.3 Regulación de la función de los ovarios

- Tal y como se ha descrito, los ovarios tienen dos funciones: oogénesis y secreción de hormonas esteroides sexuales femeninas. El eje hipotálamo-hipófisis controla ambas funciones. Del mismo modo que en los testículos, la hormona hipotalámica es GnRH y las hormonas de la hipófisis FSH y LH.
- La función ovárica en la mujer es controlada por la actividad pulsátil del eje hipotálamo-hipófisis. La GnRH llega directamente al lóbulo anterior de la hipófisis y estimula la secreción pulsátil de FSH y LH, ambas hormonas actúan sobre los ovarios para estimular el desarrollo folicular y la ovulación y la producción de hormonas sexuales femeninas.
- Para entender el control hipotalámico-hipofisario de los ovarios es importante apreciar su conducta cíclica. Cada 28 días se repite una secuencia de desarrollo folicular, ovulación, formación y degeneración de un cuerpo amarillo en el ciclo menstrual. Los primeros 14 días del ciclo

menstrual implican desarrollo folicular y constituyen la llamada fase folicular. Los últimos 14 días del ciclo menstrual son dominados por el cuerpo lúteo y se conocen como fase lútea. En el punto medio del ciclo, entre las fases folicular y lútea, ocurre la ovulación.

- Las acciones de FSH y LH sobre el desarrollo folicular y la ovulación se explican de la manera siguiente.
- FSH. Las células granulosas son las únicas células ováricas con receptores FSH. Las acciones iniciales de FSH estimulan el crecimiento de células granulosas en los folículos primarios y la síntesis de estradiol. El estradiol producido localmente apoya entonces el efecto de FSH sobre el crecimiento de las células foliculares. Por lo tanto, los dos efectos de FSH sobre la célula granulosa se refuerzan mutuamente: más células, más estradiol, más células.
- LH. La ovulación se inicia por acción de la LH. Justo antes de la ovulación, la concentración sanguínea de LH se eleva bruscamente e induce la rotura del folículo dominante liberando el oocito. La LH también estimula la formación de cuerpo lúteo, un proceso denominado luteinización y mantiene la producción de hormonas esteroides en el cuerpo lúteo durante la fase lútea del ciclo menstrual.

2. 7.3.3.1 Retroalimentación negativa y positiva

- En mujeres, el eje hipotálamo-hipófisis es controlado por retroalimentación negativa y positiva, según la fase del ciclo menstrual.
- En la fase folicular, FSH y LH estimulan la síntesis y secreción de estradiol en las células foliculares. Una de las acciones del estradiol es retroalimentación negativa sobre las células de la hipófisis anterior para inhibir la secreción de FSH y LH. En consecuencia, la fase folicular está subordinada al estradiol y regulada por retroalimentación negativa.
- A mitad del ciclo el patrón cambia. La concentración de estradiol se eleva bruscamente como resultado de la proliferación de células y su estimulación de la síntesis de estradiol ocurridas durante la fase folicular. Cuando se alcanza una concentración crítica de estradiol (al menos 200 picogramos por mililitro de plasma), el estradiol muestra un efecto de retroalimentación positiva sobre la hipófisis anterior causando secreción adicional de FSH y LH, desencadenando entonces la ovulación.
- En la fase lútea la principal hormona secretada por los ovarios es progesterona. Una de las acciones de la progesterona es la

retroalimentación negativa sobre la hipófisis anterior para inhibir la secreción de FSH y LH.

7.3.4 Acciones de estrógeno y progesterona

- En general, las dos hormonas esteroides ováricas funcionan de manera coordinada para apoyar la actividad reproductiva de la mujer: desarrollo del óvulo, desarrollo y mantenimiento del cuerpo lúteo para sostener un óvulo fecundado, mantenimiento del embarazo y preparación de las mamas para la lactancia.

3. 7.3.4.1 Acciones de los estrógenos sobre tejidos efectores

- Maduración y mantenimiento del útero, trompas de Falopio, cervix y vagina.
- En la pubertad se encarga del desarrollo de las características sexuales secundarias femeninas.
- Necesaria para el desarrollo de las mamas.
- Proliferación y desarrollo de las células granulosas ováricas.
- Regulación ascendente de estrógenos, progesterona y receptores LH.
- Efecto de retroalimentación negativa y positiva sobre la secreción de FSH y LH.
- Mantenimiento del embarazo.
- Descenso del umbral uterino al estímulo contráctil.
- Estimula la secreción de prolactina.

4. 7.3.4.2 Acciones de la progesterona sobre tejidos efectores

- Mantenimiento de la actividad secretora del útero durante la fase lútea.
- Desarrollo de las mamas.
- Efectos de retroalimentación negativa sobre la secreción de FSH y LH.
- Mantenimiento del embarazo.
- Eleva el umbral uterino al estímulo contráctil durante el embarazo.

5. 7.3.4.3 Otras funciones de estrógenos y progesterona

- Además de las acciones ya estudiadas, los estrógenos contribuyen al brote de crecimiento puberal, cierre de las epífisis al final de este brote

de crecimiento y depósito de grasa subcutánea (es decir, distribución femenina de la grasa). La progesterona tiene una ligera acción termogénica que eleva la temperatura corporal basal durante la fase lútea del ciclo menstrual. Este incremento de la temperatura corporal basal durante la fase lútea es el fundamento del método anticonceptivo del "ritmo" en el cual se puede usar retrospectivamente la elevación de la temperatura para determinar el momento de la ovulación.

7.4 Ciclo menstrual

- En el curso del ciclo menstrual, estrógenos y progesterona se encargan de los cambios que ocurren en el endometrio, cervix y vagina y también de la regulación por retroalimentación de la secreción de FSH y LH en la hipófisis anterior.
- En un ciclo de 28 días, la fase folicular del ciclo menstrual es el periodo de 14 días que precede a la ovulación. Esta fase, también conocida como fase proliferativa, es dominada por estrógenos. El estradiol, cuya secreción aumenta notablemente durante esta fase, posee efectos significativos sobre el revestimiento endometrial del útero, al que prepara para la posibilidad de aceptar un óvulo fecundado: el estradiol activa el crecimiento del endometrio, glándulas y estroma que irrigan el endometrio. El estradiol también hace más copioso, acuoso y elástico el moco cervical. La fase lútea del ciclo menstrual es el periodo de 14 días que sigue a la ovulación. Esta fase también se denomina fase secretora y está subordinada a la progesterona. La proliferación del endometrio es más lenta y su espesor disminuye. Las glándulas uterinas se vuelven más tortuosas, acumulan glucógeno en vacuolas e incrementan su secreción de moco. La secreción de progesterona reduce la cantidad de moco cervical, que a continuación se vuelve más grueso, inelástico.

7.4.1 Regulación del ciclo reproductor femenino

- El ciclo menstrual recurre aproximadamente cada 28 días durante el periodo de vida reproductiva de la mujer: desde la pubertad hasta la menopausia. Las fases del ciclo incluyen desarrollo de un folículo ovárico y su oocito, ovulación, preparación del conducto reproductivo para recibir el óvulo fecundado y desprendimiento del revestimiento endometrial si no hay fecundación. La duración del ciclo puede variar desde 21 a 35 días, pero la duración promedio es de 28 días. Los límites de la duración del ciclo se atribuyen a la variabilidad de la duración de la fase folicular; la fase lútea es constante. Por convención, el día 1 marca el inicio de la menstruación a partir del ciclo previo.

6. **Fase folicular o proliferativa**

- La fase folicular ocurre desde el día 1 hasta el 14. Durante este periodo el folículo primordial se desarrolla en un folículo graafiano y los folículos vecinos sufren atresia (degeneran o involucionan). Una vez que los folículos vecinos han involucionado, el folículo restante se denomina folículo dominante. Al principio de la fase folicular, las gonadotropinas estimulan la síntesis de estradiol. La fase folicular está subordinada al estradiol, cuya concentración aumenta de manera estacionaria. La concentración elevada de estradiol causa proliferación del revestimiento endometrial del útero e inhibe la secreción de FSH y LH mediante retroalimentación negativa.

7. **Ovulación**

- La ovulación ocurre en el día 15 de un ciclo menstrual de 28. Cualquiera que sea la duración del ciclo, la ovulación ocurre 14 días antes de la menstruación. Por ejemplo, en un ciclo de 35 días, la ovulación ocurre en el día 21, es decir, 14 días antes de la menstruación; en un ciclo de 24 días, la ovulación se presenta en el día 10. La ovulación es consecuencia de una descarga de secreción de estradiol al final de la fase folicular: la descarga de estradiol tiene un efecto de retroalimentación positiva sobre la secreción de FSH y LH en la hipófisis anterior.

8. **Fase lútea o secretora**

- La fase lútea ocurre desde los días 15 a 28 y termina al iniciarse la menstruación. Durante esta fase, el cuerpo lúteo se desarrolla y comienza a sintetizar estradiol y progesterona. Las concentraciones elevadas de progesterona preparan el endometrio para recibir un óvulo fecundado. La temperatura basal del cuerpo aumenta durante la fase lútea debido a que la progesterona desplaza hacia arriba el punto hipotalámico de la temperatura. Al final de la fase lútea, si no hay fecundación, el cuerpo lúteo involuciona y la concentración sanguínea de las hormonas disminuye bruscamente.

9. **Menstruación**

- La regresión del cuerpo lúteo y pérdida súbita de estradiol y progesterona provocan desprendimiento del revestimiento endometrial acompañado de sangre (menstruación o sangrado menstrual). Típicamente, la menstruación dura cuatro días, que corresponden a los días primero a quinto del siguiente ciclo menstrual. Durante este tiempo son reclutados

los folículos primordiales para el siguiente ciclo y comienzan a desarrollarse.

7.5 Embarazo

- En caso de fecundación, el óvulo comienza a dividirse y se convierte en feto. El periodo de desarrollo fetal se llama embarazo o gestación y en el ser humano dura aproximadamente 40 semanas.
- Durante el embarazo, la concentración de estrógenos y progesterona aumenta de manera estacionaria. Sus funciones incluyen mantenimiento del endometrio, desarrollo de las mamas para lactación después del parto y supresión del desarrollo de nuevos folículos ováricos. Al principio (primer trimestre), la fuente de hormonas esteroides es el cuerpo lúteo; de la mitad al final del embarazo (segundo y tercer trimestres) la fuente es la placenta.

7.5.1 Hormonas del embarazo

- La duración del embarazo se cuenta, por convención, desde la fecha del último periodo menstrual. El embarazo dura cerca de 40 semanas desde el inicio del último periodo menstrual ó 38 semanas desde la fecha de la última ovulación. El embarazo se divide en tres trimestres, cada uno de aproximadamente 13 semanas.

10. Primer trimestre

- En el trofoblasto, que se convertirá en placenta, se produce HCG (gonadotropina coriónica humana) y la producción se inicia ocho días después de la fecundación. La concentración de HCG es máxima cerca de la semana novena de gestación y a continuación declina. La HCG, con actividad biológica similar a la LH, es decisiva puesto que "informa" al cuerpo lúteo que la fecundación ha tenido lugar. El cuerpo lúteo, ahora bajo el control de HCG, continúa sintetizando progesterona y estrógenos, que conservan el endometrio para implantación (en ausencia de fecundación y estimulación por HCG, el cuerpo lúteo involuciona 12 días después de la ovulación; en ese punto se detiene la producción de hormonas esteroides y sobreviene la menstruación). Las concentraciones elevadas de estrógenos y progesterona también suprimen el desarrollo de la siguiente cohorte de folículos ováricos. La producción de HCG aumenta de manera espectacular en la primera semana del embarazo. La prueba del embarazo se basa en la excreción de grandes cantidades de HCG en la orina, cuantificables mediante radioinmunoensayo. La HCG se detecta en la orina materna nueve días

después de la ovulación, incluso antes de la siguiente menstruación esperada.

Segundo y tercer trimestres

- Durante los trimestres segundo y tercero, la placenta, junto con la madre y el feto, asumen la responsabilidad de producir hormonas esteroides, y somatomatotropina coriónica (CS).

Referencias

- Bayón Prieto, Y. (2019). Fisiología del sistema endocrino. Marcial Pons.
- Children's Minnesota. (2023). Sistema endocrino. Recuperado de <https://www.childrensmn.org/educationmaterials/parents/article/12974/sistema-endocrino/>
- Larráyz Roldán, I. (2008). Fisiología II. BIBA. Biblioteca de la Universidad de la Rioja.
- Thibodeau, G. A., & Patton, K. T. (2007). Anatomía y fisiología. Elsevier España. Edición 6ª.
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2008). Introducción al cuerpo humano. Fundamentos de anatomía y fisiología. Editorial Panamericana. Edición 7ª.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2011). Tratado de fisiología médica. Elsevier España. Edición 12ª.
- Tresguerres, J. A. F. (2010). Fisiología humana. McGraw-Hill. Edición 4ª.
- Barrett, K. E., & Barman, S. M. (2013). Ganong: Fisiología médica. McGraw-Hill. 24ª ed.
- Costanzo, L. S. (2011). Fisiología. Elsevier Saunders. Edición 4ª.
- Fox, S. I. (2011). Fisiología humana. McGraw-Hill.
- Mulroney, S. E., & Myer, R. A. (2011). Netter fundamentos de fisiología. Masson. Edición 1ª.
- Health Library. (2023). Anatomía del sistema endócrino. Recuperado de [https://myhealth.ucsd.edu/Spanish/RelatedItems/85,P03521\[6\]](https://myhealth.ucsd.edu/Spanish/RelatedItems/85,P03521[6])