



La **reproducción sexual** es el proceso mediante el cual los organismos producen descendencia, por medio de células germinales llamadas **gametos** (de *gametós*, esposa). Luego de que el gameto masculino (espermatozoide) se une al gameto femenino (ovocito secundario) —fenómeno llamado **fecundación**— la célula resultante contiene un juego de cromosomas de cada progenitor. Los hombres y las mujeres poseen órganos reproductores anatómicamente distintos que se encuentran adaptados para producir gametos, permitir la fecundación y, en las mujeres, mantener el crecimiento del embrión y del feto.

Los órganos reproductores masculinos y femeninos pueden agruparse sobre la base de su función. Las **gónadas** —testículos en el hombre y ovarios en la mujer— producen gametos y secretan hormonas sexuales. Diferentes **conductos** se encargan del almacenamiento y

transporte de gametos, y las **glándulas sexuales accesorias** producen sustancias que protegen los gametos y facilitan su movimiento. Finalmente, las **estructuras de sostén**, como el pene y el útero, ayudan en la liberación y el encuentro de los gametos y, en las mujeres, en el crecimiento del embrión y el feto durante el embarazo.

La **ginecología** (gineco-, de *ginaikós*, mujer, y -logía, de *logos*, estudio) es la rama de la medicina dedicada al diagnóstico y tratamiento de enfermedades del aparato reproductor femenino. Como se menciona en el capítulo 26, la **urología** es el estudio del aparato urinario. Los urólogos también diagnostican y tratan enfermedades y trastornos del aparato reproductor masculino. La rama de la medicina que trata los trastornos masculinos, especialmente esterilidad y disfunción sexual es la **andrología** (andro-, de *andrós*, varón).

## APARATO REPRODUCTOR MASCULINO

### ► OBJETIVOS

Describir la localización, estructura y funciones de los órganos del aparato reproductor masculino.

Analizar el proceso de espermatogénesis en los testículos.

Los órganos que componen el aparato reproductor masculino son los testículos, un sistema de conductos (que incluye el epidídimo, el conducto deferente, los conductos eyaculadores y la uretra), glándulas sexuales accesorias (las vesículas seminales, la próstata y las glándulas bulbouretrales) y varias estructuras de sostén, como el escroto y el pene (fig. 28-1). Los testículos (gónadas masculinas) producen espermatozoides y secretan hormonas. El sistema de conductos transporta y almacena los espermatozoides, participa en su maduración y los conduce al exterior. El semen contiene espermatozoides junto con las secreciones provistas por las glándulas sexuales accesorias. Las estructuras de sostén tienen varias funciones. El pene libera los espermatozoides dentro del aparato reproductor femenino y el escroto sostiene a los testículos.

### Escroto

El **escroto** (bolsa), la estructura de sostén para los testículos, está compuesta por piel laxa y fascia superficial que cuelga de la raíz (porción fija) del pene (fig. 28-1a). Exteriormente, el escroto se ve como una tónica bolsa de piel separada en dos porciones laterales por un surco medio llamado **rafe**. En el interior, el **septo** o **tabique escrotal** divide el escroto en dos sacos, cada uno con un testículo (fig. 28-2). El tabique está formado por una fascia superficial y tejido muscular llamado **músculo dartos** (de *dartós*, desollado), el cual se compone de haces de fibras musculares lisas. El músculo dartos también se encuentra en el tejido subcutáneo del escroto. Asociado a cada testículo en el escroto se encuentra el **músculo cremáster** (suspensor), una pequeña banda de músculo esquelético que es una continuación del músculo oblicuo interno del abdomen.

La localización del escroto y la contracción de sus fibras musculares regulan la temperatura de los testículos. La producción normal de espermatozoides requiere una temperatura alrededor de 2-3 °C por debajo de la temperatura corporal central. La temperatu-

ra dentro del escroto es más baja ya que éste se encuentra fuera de la cavidad pelviana. En respuesta a las bajas temperaturas, los músculos cremáster y dartos se contraen. La contracción del músculo cremáster acerca los testículos al cuerpo, donde pueden absorber el calor corporal. La contracción del músculo dartos produce tensión en el escroto (de apariencia arrugada), lo cual reduce la pérdida de calor. La exposición al calor causa todo lo opuesto.

### Testículos

Los **testículos** son glándulas pares ovales ubicadas en el escroto, de 5 cm de largo y 2,5 cm de diámetro (fig. 28-3). Cada testículo tiene un peso de 10-15 gramos. Los testículos se desarrollan cerca de los riñones, en la porción posterior del abdomen, y habitualmente comienzan a descender hacia el escroto a través de los conductos inguinales (pasajes en la pared abdominal anterior; véase fig. 28-2) durante la segunda mitad del séptimo mes del desarrollo fetal.

Una serosa llamada **túnica vaginal**, que deriva del peritoneo y se forma durante el descenso de los testículos, los cubre parcialmente. La acumulación o colección de líquido seroso dentro de la túnica vaginal se denomina **hidrocele** (hidro-, de *hydrós*, agua, y -cele, de *kéele*, hernia). Puede ser causada por lesión de los testículos o la inflamación del epidídimo. Habitualmente, no requiere ningún tratamiento. Por dentro de la túnica vaginal se encuentra una cápsula fibrosa blanca compuesta por tejido conectivo denso irregular, la **túnica albugínea** (albo-, de *albus*, blanco); se extiende hacia el interior, formando tabiques que dividen al testículo en una serie de compartimentos internos llamados **lóbulos**. Cada uno de los 200-300 lóbulos contiene de uno a tres túbulos muy enrollados, los **túbulos seminíferos** (semen-, de *semen*, semilla, y -fero, de *afferens*, que lleva), donde se producen los espermatozoides. El proceso por el cual los túbulos seminíferos de los testículos producen espermatozoides se conoce como **espermatogénesis** (-génesis, de *genesis*, generación, producción).

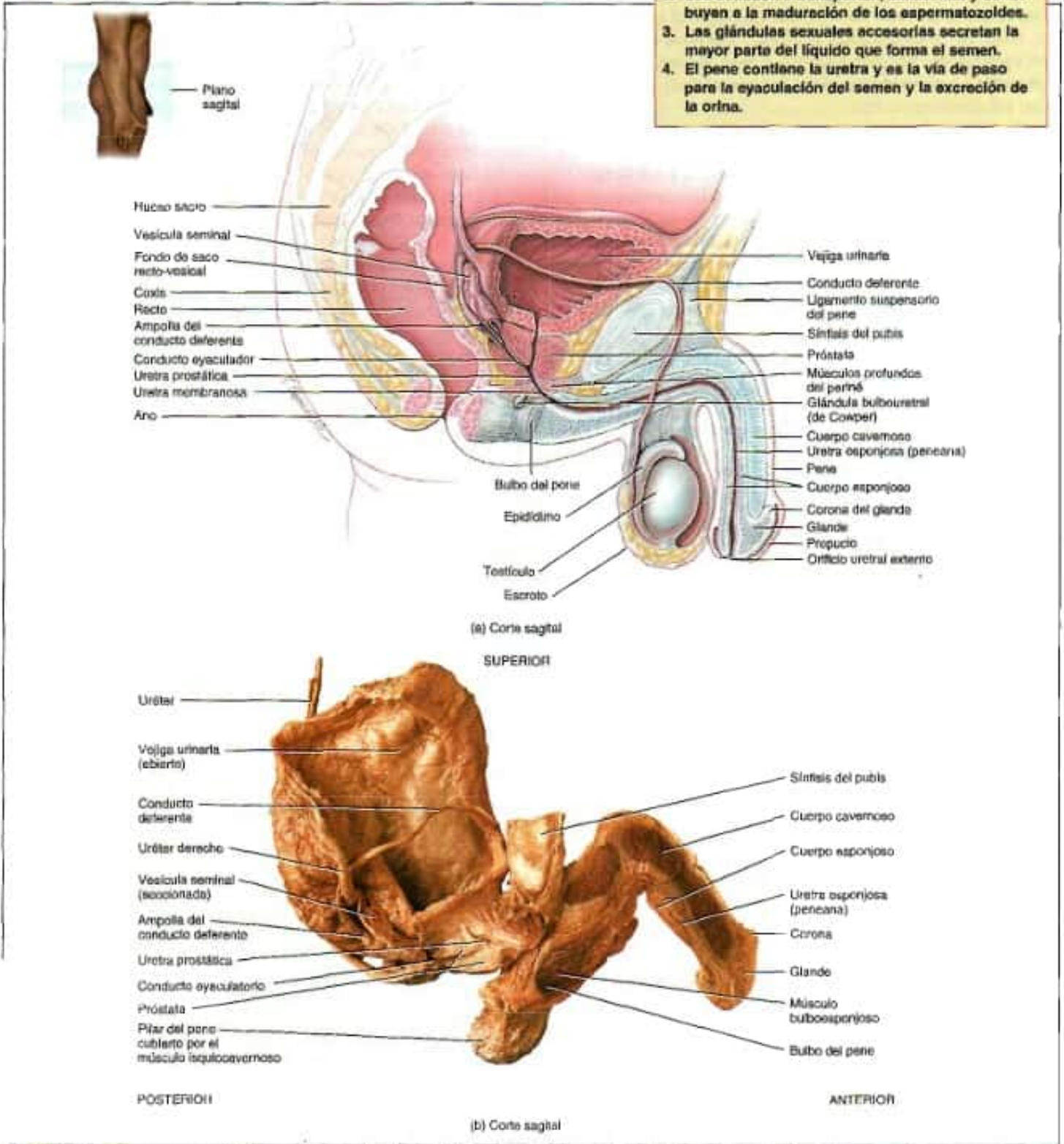
Los túbulos seminíferos contienen dos tipos de células: las **células espermatogénicas**, productoras de espermatozoides, y las **células de Sertoli**, encargadas de varias funciones en el mantenimiento de la espermatogénesis (fig. 28-4). Células madres llamadas **espermatogonias** (-genia, de *gonía*, generación) se desarrollan a partir de **células germinativas primordiales** que se originan en el saco vitelino e ingresan a los testículos durante la quinta semana de

**Fig. 28-1** Órganos masculinos de la reproducción y estructuras circundantes.

Los órganos de la reproducción están adaptados para producir nuevos individuos y transmitir el material genético de una generación a la siguiente.

**Funciones del aparato reproductor masculino**

1. Los testículos producen espermatozoides y la hormona sexual masculina testosterona.
2. Los conductos transportan, almacenan y contribuyen a la maduración de los espermatozoides.
3. Las glándulas sexuales accesorias secretan la mayor parte del líquido que forma el semen.
4. El pene contiene la uretra y es la vía de paso para la eyaculación del semen y la excreción de la orina.



¿Cómo se agrupan los órganos de la reproducción en el hombre, y cuáles son las funciones de cada grupo?

desarrollo. En el testículo embrionario las células germinativas primordiales se diferencian en espermatogonias, permanecen en un estado de letargo durante la niñez e inician la producción activa de espermatozoides al alcanzar la pubertad. Hacia la luz del túbulo, las capas celulares son cada vez más maduras. Según el grado de madurez, éstas son: espermatoцитos primarios, espermatoцитos secundarios, espermátides y espermatozoides. Luego de formarse, el **espermatozoide** o **espermatozoo** (-zoo, de *zoon*, animal) se libera hacia la luz del túbulo seminífero.

Distribuidas entre las células espermatogénicas en los túbulos seminíferos se encuentran grandes **células de Sertoli** o *células sustentaculares*, que se extienden desde la membrana basal hasta la luz del túbulo. Por dentro de la membrana basal y las espermatogonias, uniones estrechas unen las células de Sertoli vecinas. Estas uniones forman una valla conocida como la **barrera hematotesticular**, debido a que las sustancias deben primero atravesar las células de Sertoli para alcanzar a los espermatozoides en desarrollo. Al aislar los gametos en desarrollo de la sangre, la barrera hematotesticular evita

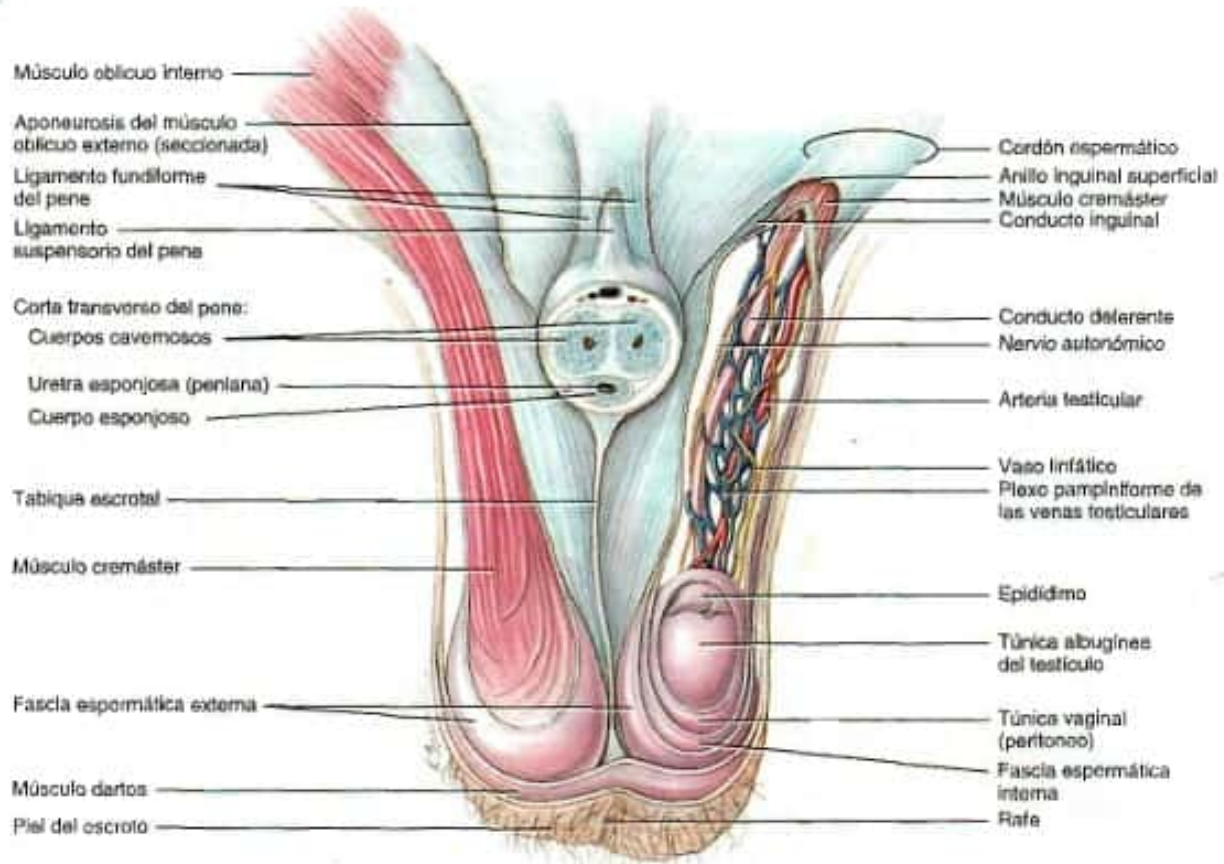
la respuesta inmunológica contra los antígenos de superficie de las células espermatogénicas, que se reconocen como "extraños" por el sistema inmunitario. La barrera hematotesticular no incluye a las espermatogonias.

Las células de Sertoli sustentan y protegen a las células espermatogénicas en desarrollo de diversas maneras. Nutren a los espermatoцитos, espermátides y espermatozoides; fagocitan el citoplasma sobrante que se genera durante el desarrollo y controlan los movimientos de las células espermatogénicas y la liberación de espermatozoides a la luz del túbulo seminífero. También producen líquido para el transporte de espermatozoides, secretan la hormona inhibina y median los efectos de la testosterona y FSH (hormona foliculostimulante).

En el intersticio que separa a dos túbulos seminíferos adyacentes hay grupos de células llamadas **células de Leydig** (células intersticiales) (fig. 28-4). Estas células secretan testosterona, el andrógeno más importante. Un **andrógeno** es una hormona que promueve el desarrollo de los caracteres masculinos. La testosterona también estimula la libido (impulso sexual) en el hombre.

**Fig. 28-2** El escroto, estructuras de sostén de los testículos.

El escroto está formado por piel laxa y una fascia superficial y sostiene los testículos.

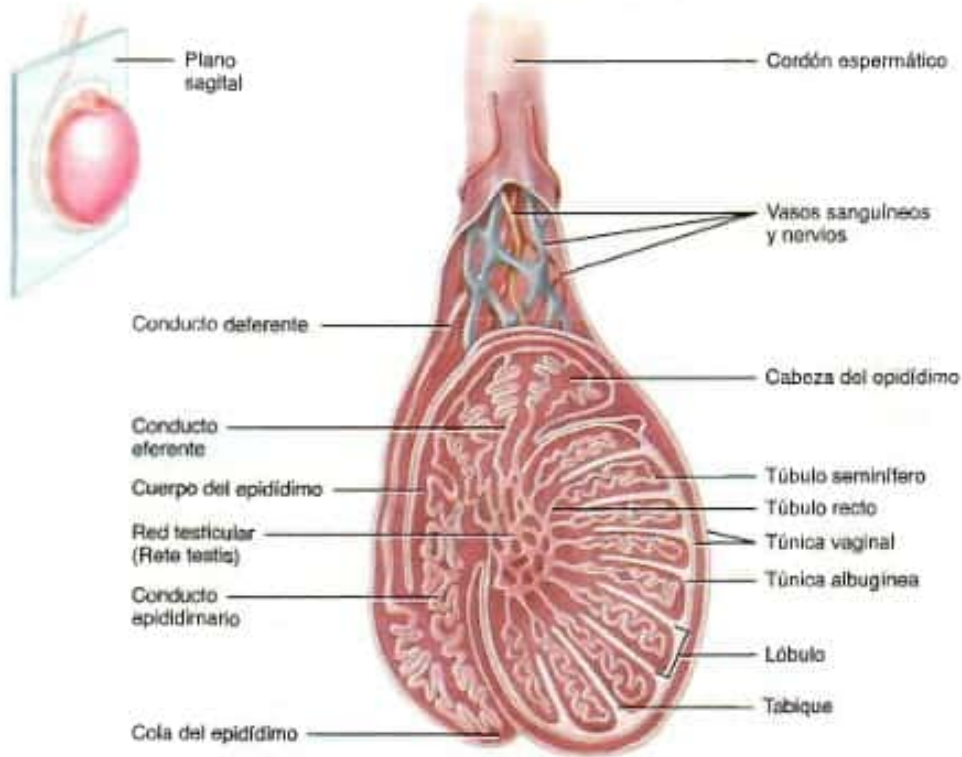


Vista anterior del escroto y los testículos y corte transversal del pene

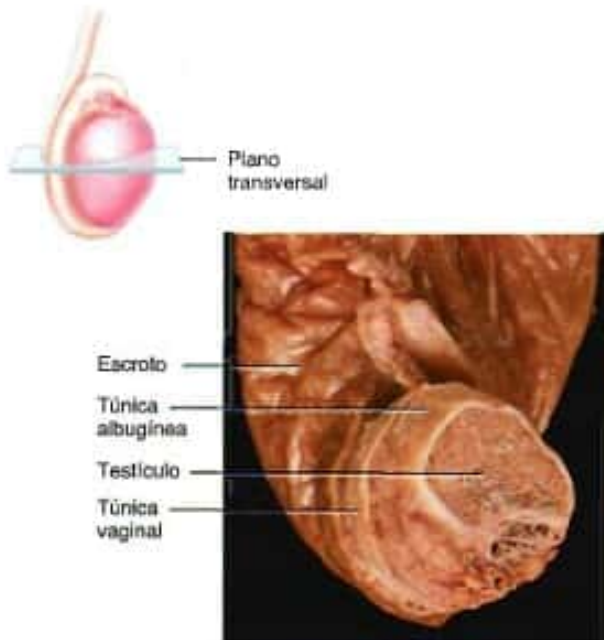
¿Cuáles son los músculos que ayudan a regular la temperatura de los testículos?

**Fig. 28-3 Anatomía Interna y externa del testículo.**

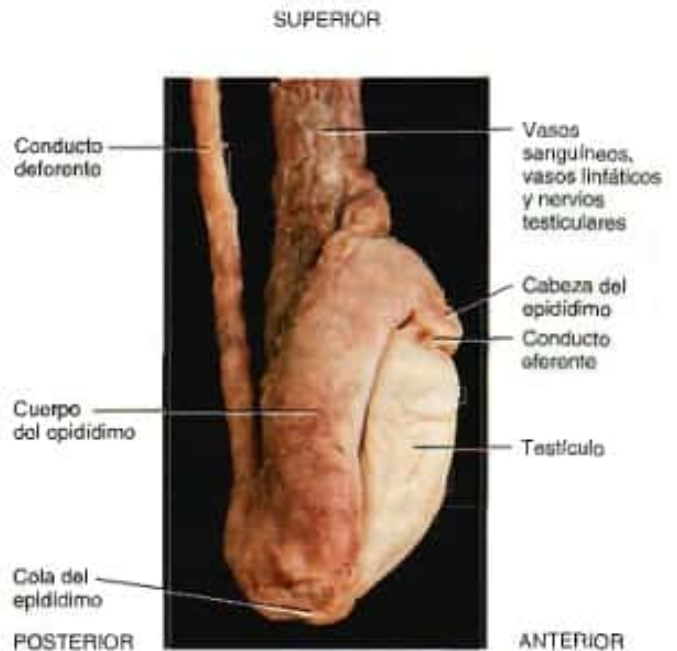
Los testículos son las gónadas masculinas, que producen espermatozoides haploides.



(a) Corte sagital del testículo que muestra los túbulos seminíferos



(b) Corte transversal

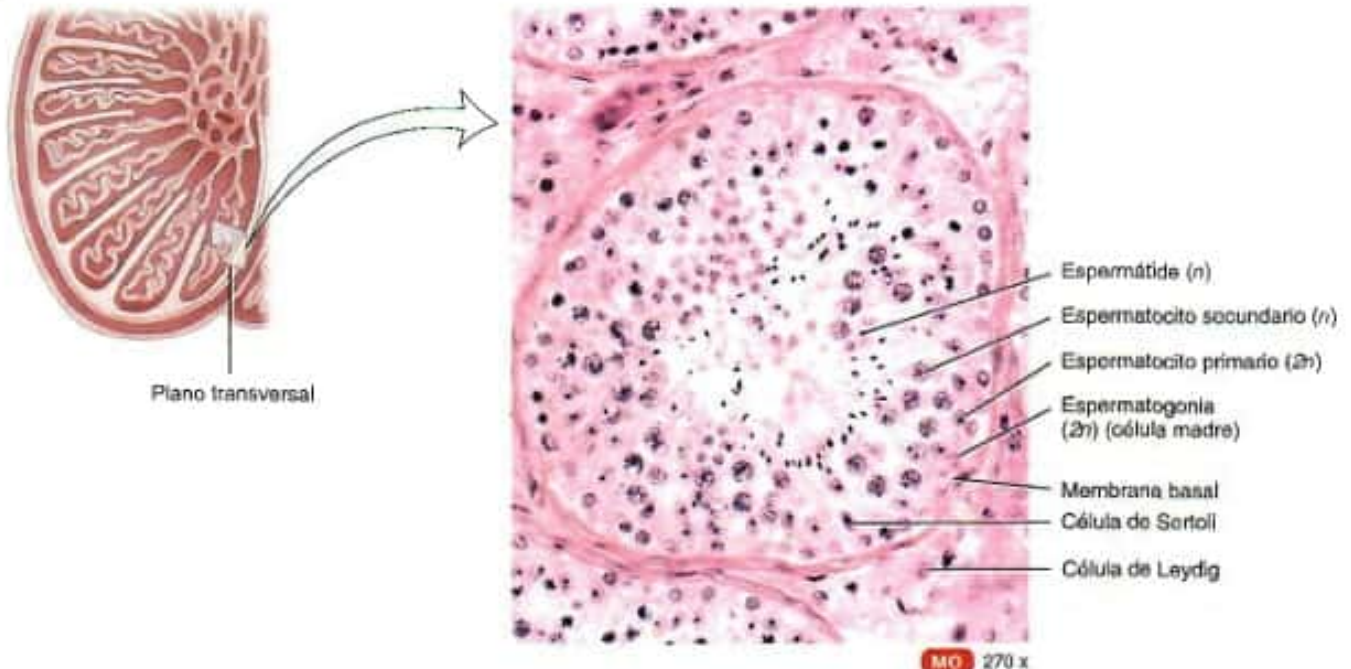


(c) Testículo y estructuras asociadas (vista lateral)

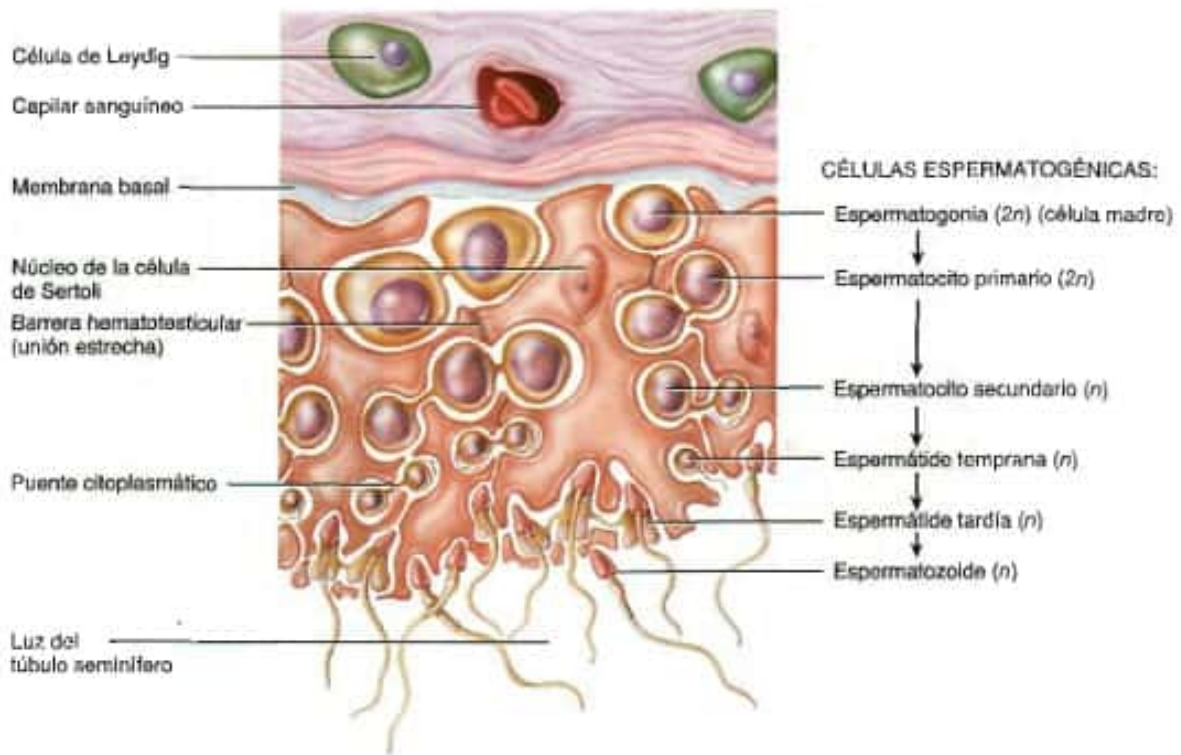
¿Cuáles son las capas de tejidos que cubren y protegen a los testículos?

**Fig. 28-4** Histología de los túbulos seminíferos y etapas de la producción de espermatozoides (espermatogénesis). Las flechas en (b) indican la progresión de las células espermatogénicas de menos maduras a más maduras. ( $n$ ) y ( $2n$ ) indican un número haploide y diploide de cromosomas, respectivamente.

La espermatogénesis se produce en los túbulos seminíferos dentro de los testículos.



(a) Corte transversal de varios túbulos seminíferos.



(b) Corte transversal de una porción de un túbulo seminífero

¿Qué células secretan testosterona?

## Criptorquidia

La afección en la cual los testículos no descienden al escroto se conoce como **criptorquidia** (cripto-, de *kriptós*, oculto, y -orquidia, de *orkhis*, testículo); afecta a alrededor del 3% de los nacidos de término y a casi el 30% de los prematuros. La criptorquidia bilateral no tratada produce esterilidad debido a que las células involucradas en las fases iniciales de la espermatogénesis se destruyen por las altas temperaturas de la cavidad pelviana. La probabilidad de sufrir cáncer testicular es 30-50 veces mayor en los testículos criptorquídicos. Los testículos de alrededor del 80% de los niños con criptorquidia descienden espontáneamente durante el primer año de vida. Cuando esto no sucede, se recurre a la corrección quirúrgica, preferentemente antes de los 18 meses de edad. ■

## Espermatogénesis

Antes de leer esta sección, por favor revise el tema división de las células reproductivas en el capítulo 3. Preste particular atención a las **figuras 3-31 y 3-32**.

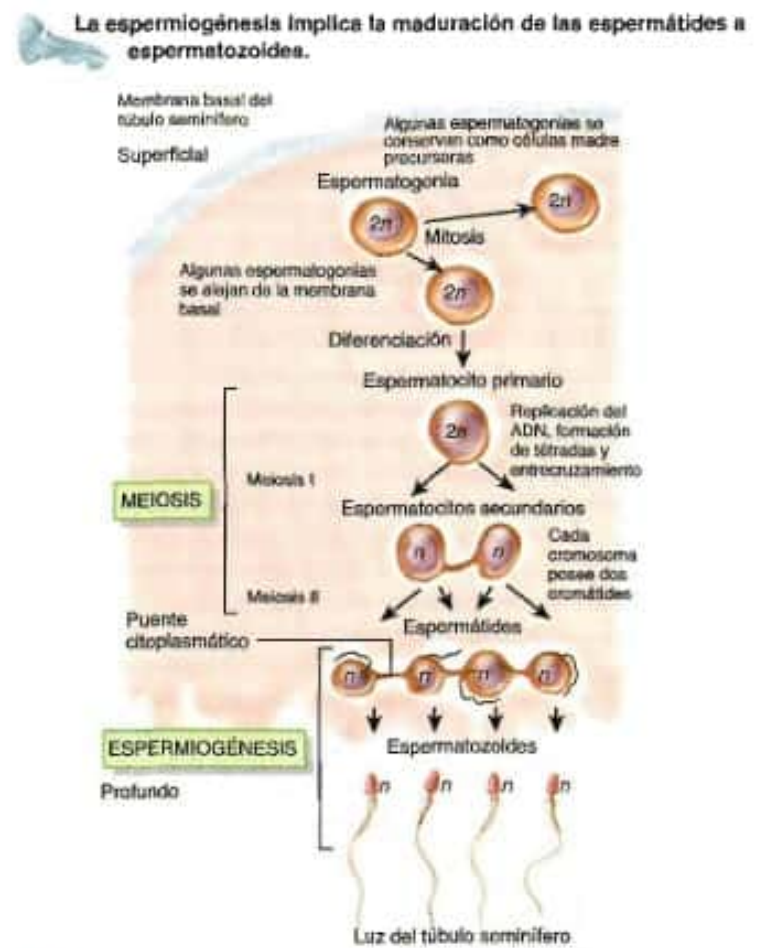
En los seres humanos, la espermatogénesis dura entre 65 y 75 días. Comienza con la espermatogonia, que contiene un número diploide ( $2n$ ) de cromosomas (**fig. 28-5**). Las espermatogonias son un tipo de *células madre*; cuando realizan mitosis, algunas espermatogonias permanecen cerca de la membrana basal del túbulo seminífero en un estado indiferenciado para servir como reservorio de células para futuras mitosis y subsiguiente producción de espermatozoides. Las restantes pierden contacto con la membrana basal, se introducen entre las uniones estrechas de la barrera hematotesticular, sufren cambios en su desarrollo y así se diferencian en **espermatoцитos primarios**. Éstos, como las espermatogonias, son diploides ( $2n$ ); es decir, tienen 46 cromosomas.

Poco después de su formación, cada espermatoцитo primario replica su ADN y luego inicia la meiosis (**fig. 28-5**). Durante la meiosis I (primera división meiótica), los pares homólogos de cromosomas se alinean sobre el eje ecuatorial de la célula y tiene lugar el entrecruzamiento de genes (*crossing-over*). Luego, el huso meiótico tracciona un cromosoma (duplicado) de cada par hacia el polo opuesto de la célula en división. Las dos células formadas en la meiosis I se denominan **espermatoцитos secundarios**. Cada espermatoцитo secundario tiene 23 cromosomas, el número haploide. Cada cromosoma dentro del espermatoцитo secundario, sin embargo, está formado por dos cromátides (dos copias del ADN) aún unidas por el centrómero. No ocurren posteriores replications de ADN en los espermatoцитos secundarios.

Durante la meiosis II (segunda división meiótica), los cromosomas se alinean en una única fila sobre el eje ecuatorial de la célula y las dos cromátides de cada cromosoma se separan. Las cuatro células haploides que se forman luego de meiosis II se llaman **espermátides**. Cada espermatoцитo, entonces, produce cuatro espermátides por medio de dos divisiones consecutivas (meiosis I y meiosis II).

Durante la espermatogénesis ocurre un proceso único. A medida que las células espermatogénicas proliferan, no logran completar la separación citoplasmática (citocinesis). Las células permanecen en contacto por medio de puentes citoplasmáticos durante todo su

**Fig. 28-5** Etapas de la espermatogénesis. Las células diploides ( $2n$ ) poseen 46 cromosomas; las células haploides ( $n$ ) poseen 23 cromosomas.



¿Qué es lo que se "reduce" durante la meiosis I?

desarrollo (véanse **figs. 28-4b y 28-5**). Este patrón de desarrollo probablemente sea la causa de la producción sincrónica de espermatozoides en cualquier área dada del túbulo seminífero. También podría tener importancia para la supervivencia de las células, debido a que una mitad de los espermatozoides contiene un cromosoma X y la otra mitad, un cromosoma Y. El cromosoma X, de mayor tamaño, podría tener genes necesarios para la espermatogénesis que no tiene el cromosoma Y, de menor tamaño.

La fase final de la espermatogénesis, la **espermiogénesis**, es el proceso de conversión de espermátides haploides a espermatozoides. No hay **división celular** durante la espermiogénesis; cada espermátide se convierte en un único espermatozoides. Durante este proceso las espermátides esféricas se transforman en espermatozoides alargados y delgados. Se forma un acrosoma (se describirá a continuación) encima del núcleo, que se condensa y elonga, se desarrolla un flagelo y se multiplican las mitocondrias. Las células de Sertoli se encargan de degradar el citoplasma excedente que se desprende de las células. Finalmente, los espermatozoides son liberados de sus conexiones con las células de Sertoli, fenómeno conocido como **espermiación**. Los

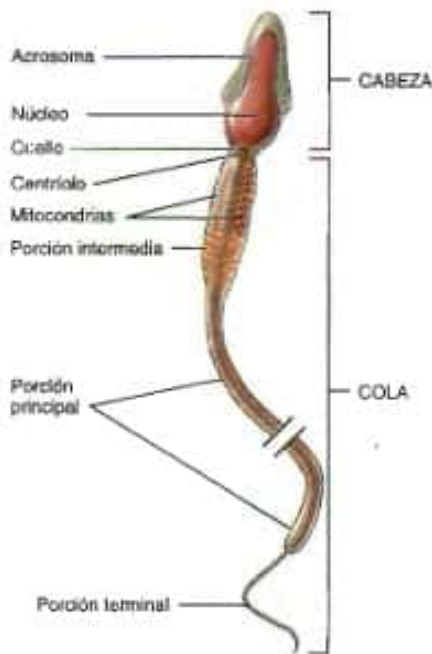
espermatozoides luego pasan a la luz del túbulo seminífero. El líquido secretado por las células de Sertoli propulsa a los espermatozoides a lo largo de su camino, hacia los conductos de los testículos.

### Espermatozoides

Cada día alrededor de 300 millones de espermatozoides completan el proceso de espermatogénesis. Un espermatozoide tiene alrededor de 60 µm de largo y contiene distintas estructuras específicamente adaptadas para poder alcanzar y penetrar a un ovocito secundario (fig. 28-6). Las partes principales de un espermatozoide son la cabeza y la cola. La **cabeza** aplanada y piriforme del espermatozoide tiene 4-5 µm de largo. Contiene un **núcleo** con 23 cromosomas muy condensados. Cubriendo los dos tercios anteriores del núcleo se encuentra el **acrosoma** (acro-, de *ákrón*, extremo, y -soma, de *sóoma*, cuerpo), una vesícula con forma de capuchón llena de enzimas que ayudan al espermatozoide a penetrar al ovocito secundario y así lograr la fecundación. Entre las enzimas encontramos hialuronidasas y proteasas. La **cola** del espermatozoide se divide en cuatro partes: cuello, pieza intermedia, pieza principal y pieza terminal. El **cuello** es la región estrecha inmediatamente posterior a la cabeza que contiene centriolos. Los centriolos forman los microtúbulos que van a comprender las porciones restantes de la cola. La **porción media** contiene mitocondrias dispuestas en espiral, encargadas de proveer la energía (ATP) que permite la locomoción del espermatozoide hacia el sitio de fecundación y el metabolismo celular. La **porción principal** es la porción más larga de la cola y la **porción terminal** es la porción final donde se estrecha. Una vez producida la

Fig. 28-5 Partes del espermatozoide.

Cerca de 300 millones de espermatozoides maduran cada día.



¿Cuáles son las funciones de cada parte del espermatozoide?

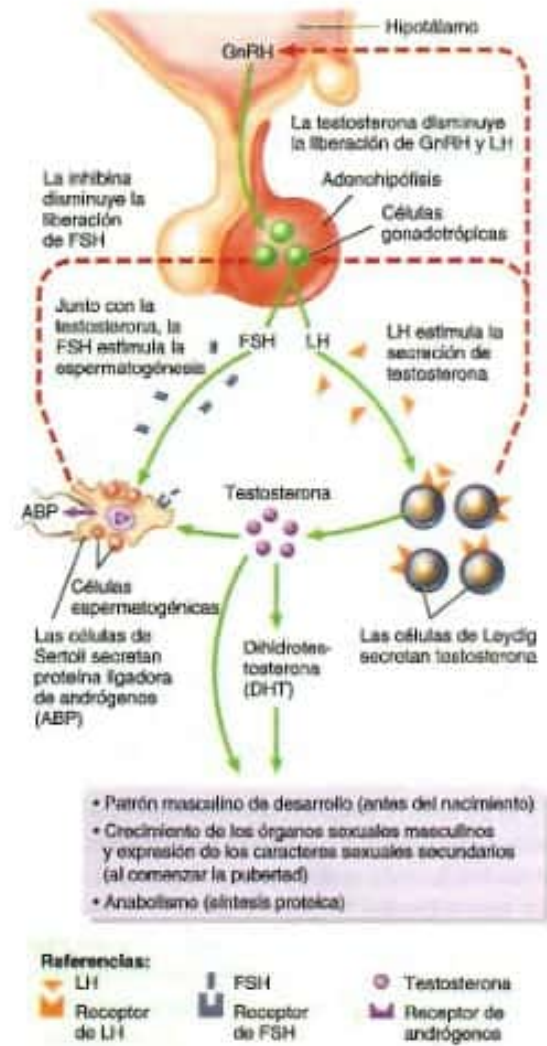
eyacuación, la mayor parte de los espermatozoides no sobreviven más de 48 horas dentro del tracto reproductor femenino.

### Control hormonal de los testículos

Los factores iniciadores se desconocen, pero al llegar a la pubertad ciertas células neurosecretoras hipotalámicas incrementan la secreción de **hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)**. Esta hormona, a su vez, estimula a las células gonadotrópicas en el lóbulo anterior de la hipófisis a aumentar la secreción de dos gonadotropinas, la **hormona luteinizante (LH)** y la **hormona foli-**

Fig. 28-7 Control hormonal de la espermatogénesis y acciones de la testosterona y dihidrotestosterona (DHT). En respuesta a la estimulación por FSH y testosterona, las células de Sertoli secretan proteína ligadora de andrógenos (ABP). Las líneas rojas indican inhibición por retroalimentación negativa.

La liberación de FSH es estimulada por GnRH e inhibida por inhibina; la liberación de LH es estimulada por GnRH e inhibida por la testosterona.



¿Qué células secretan inhibina?

loestimulante (FSH). En la **figura 28-7** se muestra la relación entre las hormonas y los ciclos de retroalimentación negativa (*feedback*) que controlan la secreción de testosterona y la espermatogénesis.

La LH estimula a las células de Leydig, localizadas entre los túbulos seminíferos, a secretar la hormona **testosterona**. Esta hormona esteroidea se sintetiza en los testículos a partir de colesterol en los testículos y es el principal andrógeno. Al ser liposoluble, difunde fácilmente fuera de las células de Leydig hacia el líquido intersticial y luego a la sangre. Por un mecanismo de retroalimentación negativa, la testosterona inhibe la secreción de LH por las células gonadotrópicas del lóbulo anterior de la hipófisis y la secreción de GnRH por parte de las células neurosecretoras hipotalámicas. En algunas células diana, como las de los genitales externos y la próstata, la enzima  $5\alpha$  reductasa convierte la testosterona en otro andrógeno llamado **dihidrotestosterona (DHT)**.

La FSH actúa en forma indirecta estimulando la espermatogénesis (**fig. 28-7**). La FSH y la testosterona actúan en forma sinérgica sobre las células de Sertoli estimulando la secreción de la **proteína ligadora de andrógenos (ABP)** hacia la luz de los túbulos seminíferos y hacia el líquido intersticial alrededor de las células espermatogénicas. La ABP se une a la testosterona, manteniendo su concentración elevada. La testosterona estimula los pasos finales de la espermatogénesis dentro de los túbulos seminíferos. Una vez que se alcanza el grado de espermatogénesis requerido para cumplir las funciones reproductoras del hombre, las células de Sertoli liberan **inhibina**, una hormona proteica llamada así por su función inhibitoria sobre la secreción de FSH por parte de la adenohipófisis (**fig. 28-7**). Si la espermatogénesis ocurre en forma muy lenta, se libera menos inhibina, lo que permite la secreción de más cantidad de FSH y el consecuente incremento en la tasa de espermatogénesis.

La testosterona y la dihidrotestosterona se unen al mismo receptor androgénico, que se encuentra en el núcleo de las células diana. El complejo hormona-receptor regula la expresión génica, permitiendo la expresión de algunos genes e impidiendo la de otros. Debido a estos cambios, los andrógenos producen distintos efectos:

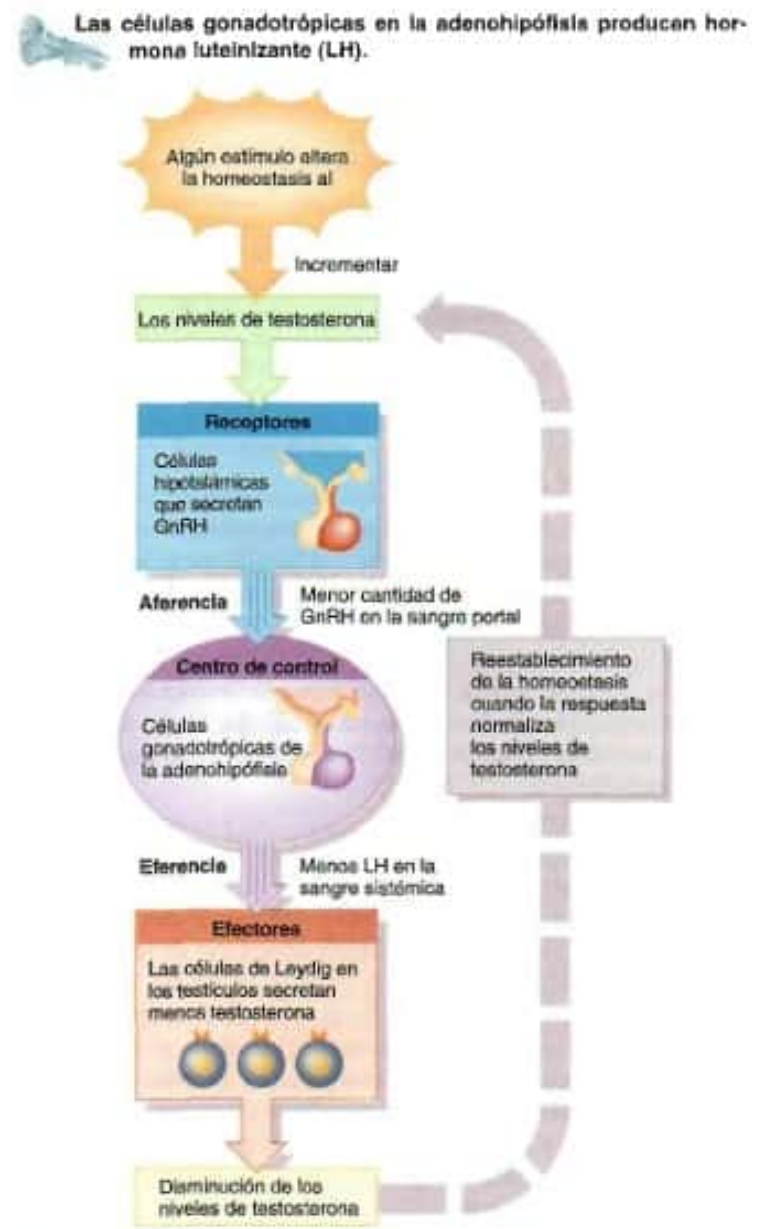
- **Desarrollo prenatal.** Antes del nacimiento, la testosterona estimula el patrón de desarrollo masculino de los conductos del aparato reproductor y el descenso de los testículos. La dihidrotestosterona estimula el desarrollo de los genitales externos. La testosterona también se convierte en estrógenos (hormonas feminizantes) en el cerebro, lo cual puede desempeñar un papel en el desarrollo de ciertas regiones del cerebro en los hombres.
  - **Desarrollo de los caracteres sexuales masculinos.** En la pubertad, la testosterona y la dihidrotestosterona son responsables del desarrollo y del crecimiento de los órganos sexuales masculinos y del desarrollo de los caracteres sexuales secundarios masculinos. Éstos incluyen al crecimiento muscular y esquelético que resultan en una espalda ancha y una cintura angosta; crecimiento de vello púbico, axilar, facial y pectoral (dentro de los límites aportados por la herencia); engrosamiento de la piel; aumento de la secreción sebácea; crecimiento de la laringe y voz más gruesa.
- Desarrollo de la función sexual.** Los andrógenos contribuyen al comportamiento sexual masculino y la espermatogénesis, así como también a la libido (impulso sexual) tanto en hombres co-

mo mujeres. Recuerde que la corteza suprarrenal es la principal fuente de andrógenos en la mujer.

- **Estimulación del anabolismo.** Los andrógenos son hormonas anabólicas; es decir, que estimulan la síntesis proteica. Esto se evidencia en la mayor masa muscular y ósea que se observa en los hombres con respecto a las mujeres.

Un sistema de retroalimentación negativa regula la producción de testosterona (**fig. 28-8**). Cuando la concentración de testosterona en la sangre se eleva hasta cierto nivel, inhibe la liberación de GnRH por las

**Fig. 28-8** Control de los niveles de testosterona por retroalimentación negativa.



¿Qué hormonas inhiben la secreción de FSH y LH por la adenohipófisis?



células del hipotálamo. Como resultado, hay menos GnRH en la sangre portal que fluye del hipotálamo a la adenohipófisis. Así, las células gonadotrópicas liberan menos LH, por lo que la concentración de LH en la sangre sistémica disminuye. Con menor estímulo de la LH, las células de Leydig en los testículos secretan menos testosterona, y se restablece la homeostasis. Si la concentración de testosterona en sangre desciende demasiado, más GnRH volverá a liberarse en el hipotálamo y estimulará la secreción de LH por la adenohipófisis. La LH, a su vez, estimulará la producción de testosterona en los testículos.

### ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Describa las funciones que cumple el escroto en la protección de los testículos de las fluctuaciones de la temperatura.
2. Describa la estructura interna de los testículos. ¿Dónde se producen los espermatozoides? ¿Cuáles son las funciones de las células de Sertoli y las células de Leydig?
3. Describa los principales pasos de la espermatogénesis.
4. Identifique las partes del espermatozoide y enumere las funciones de cada una.
5. ¿Cuáles son las funciones que cumplen la FSH, la LH, la testosterona y la inhibina en el aparato reproductor masculino? ¿Cómo se controla la secreción de estas hormonas?

## Conductos del aparato reproductor masculino

### Conductos del testículo

La presión generada por el líquido secretado por las células de Sertoli impulsa los espermatozoides y el líquido por la luz de los túbulos seminíferos y luego dentro de una serie de conductos muy cortos llamados **túbulos rectos** (véase fig. 28-3a). Los túbulos rectos llevan a una red de conductos en el testículo llamada **red testicular** (rete testis). Desde la rete testis, los espermatozoides se desplazan por una serie de **conductos eferentes** enrollados dentro del epidídimo, los cuales se vacían dentro de un único conducto llamado **conducto epididimario**.

### Epidídimo

El **epidídimo** (epi-, de *epi*, sobre, y -dídimo, de *didymos*, gemelo) es un órgano con forma de coma de unos 4 cm de largo que yace sobre el borde posterior de cada testículo (véase fig. 28-3a). Cada epidídimo consta principalmente de un **conducto epididimario** muy enrollado. Los conductos eferentes del testículo se unen al conducto epididimario en la porción más grande y superior del epidídimo llamada **cabeza**. El **cuerpo** es la porción intermedia más angosta del epidídimo, y la **cola** es la porción más pequeña e inferior. En su extremo distal, la cola del epidídimo se continúa como el conducto deferente (véase luego).

El conducto epididimario medirá, desenrollado, alrededor de 6 m de longitud. Se encuentra recubierto por un epitelio cilíndrico pseudoestratificado y rodeado por capas de músculo liso. La superficie

libre de las células cilíndricas posee **estereocilios**, los cuales a pesar de su nombre son largas microvellosidades ramificadas (no cilios) que incrementan el área de superficie para la reabsorción de espermatozoides degenerados. El tejido conectivo que rodea la capa muscular fija los bucles del conducto epididimario y transporta vasos sanguíneos y nervios.

Funcionalmente, el epidídimo es el sitio donde se produce la **maduración de los espermatozoides**, proceso por el cual obtienen motilidad y la capacidad de fecundar un óvulo. Esto ocurre a lo largo de un período de 14 días. El epidídimo también ayuda a impulsar los espermatozoides hacia el conducto deferente durante la excitación sexual por medio de contracciones peristálticas del músculo liso. A su vez, el epidídimo almacena espermatozoides, los cuales permanecen viables por varios meses en ese sitio. Los espermatozoides almacenados que no se eyaculan luego de este tiempo son finalmente reabsorbidos.

### Conducto deferente

Cerca de la cola del epidídimo, el conducto epididimario se vuelve menos tortuoso y aumenta su diámetro. A partir de este punto, se llama **conducto deferente** o **vas deferens** (véase fig. 28-3a). El conducto deferente, el cual mide alrededor de 45 cm de largo, asciende por el borde posterior del epidídimo, pasa a través del conducto inguinal (véase fig. 28-2) e ingresa en la cavidad pelviana. Allí, gira por encima del uréter y pasa por el costado y por debajo de la cara inferior de la vejiga urinaria (véase fig. 28-1a). La porción final dilatada del conducto deferente es la **ampolla** (fig. 28-9). La mucosa del conducto deferente consiste en un epitelio cilíndrico pseudoestratificado y una lámina propia (tejido conectivo rico en fibras elásticas). La muscular está compuesta por tres capas de músculo liso; en la capa interna y en la externa las fibras son longitudinales y en la capa media son circulares.

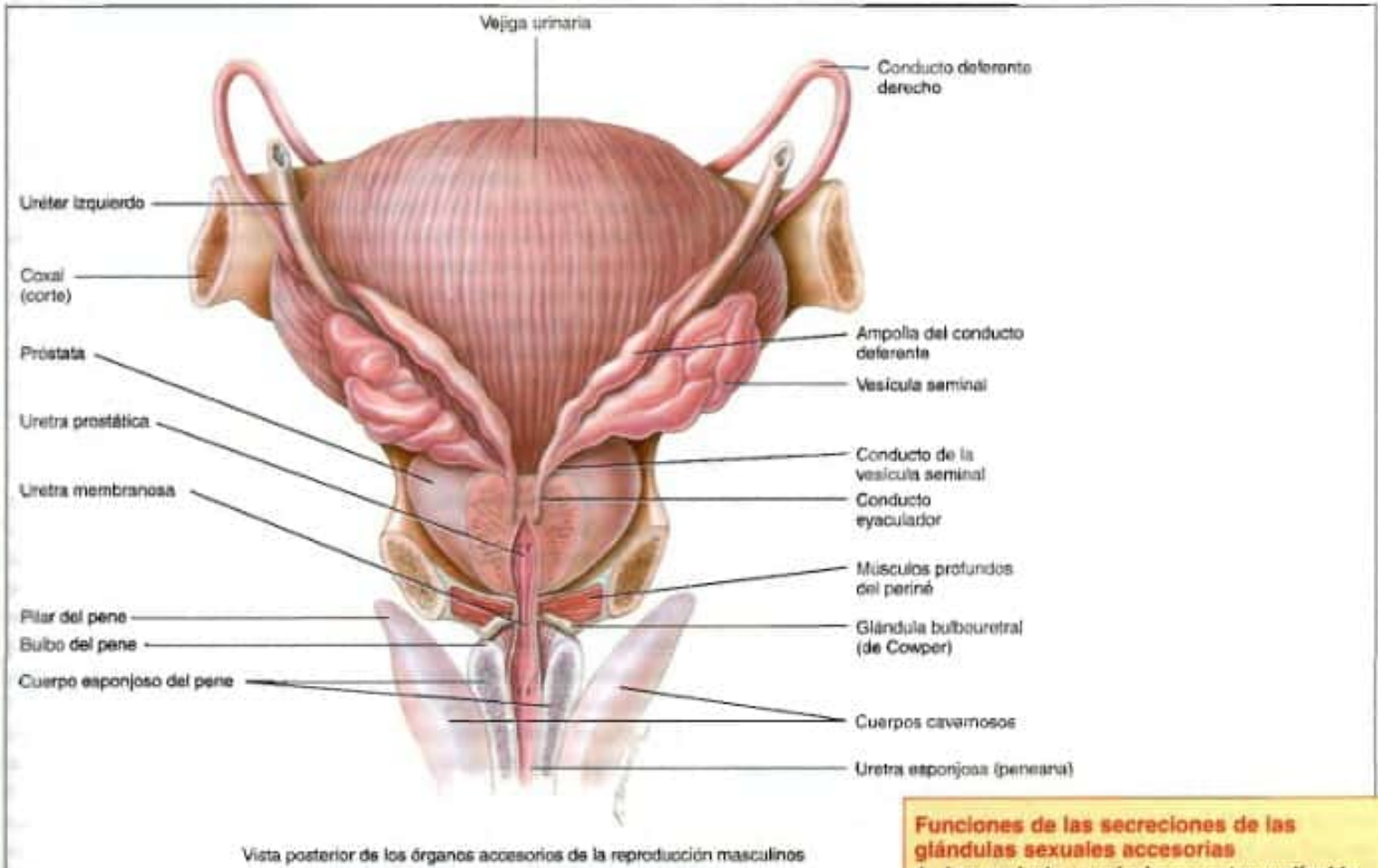
Funcionalmente, el conducto deferente transporta los espermatozoides durante la excitación sexual desde el epidídimo hacia la uretra por medio de contracciones peristálticas de su cubierta muscular. Al igual que el epidídimo, el conducto puede almacenar espermatozoides por muchos meses. Cualquier espermatozoide que no se eyacula en ese tiempo, es finalmente reabsorbido.

### Cordón espermático

El **cordón espermático** es una estructura de sostén del aparato reproductor masculino que asciende desde el escroto (véase fig. 28-2). Está conformado por el conducto deferente, la arteria testicular, venas que drenan los testículos y transportan la testosterona a la circulación (el plexo pampiniforme), nervios autónomos, vasos linfáticos y el músculo cremáster. El término **varicocele** (varico-, de *várix*, várice, -cele, de *kéele*, hernia) se refiere a la tumefacción del escroto debida a la dilatación de la venas que drenan los testículos. Suele ser más evidente cuando la persona se encuentra de pie y en general no requiere tratamiento. El cordón espermático y el nervio ilioinguinal pasan a través del **conducto inguinal**, un pasaje oblicuo en la pared abdominal anterior justo por encima y paralelo a la mitad medial del ligamen inguinal. El conducto, que mide unos 4-5 cm de largo, se origina en el **anillo inguinal profundo** (**abdominal** o **interno**), una abertura en forma de ranura en la aponeurosis del músculo transverso del abdome

**Fig. 28-9** Ubicación de las glándulas sexuales accesorias en el hombre. La próstata, la uretra y el pene se encuentran seccionados para mostrar detalles internos.

La uretra masculina se divide en tres porciones: prostática, membranosa y esponjosa (peneana).



**Funciones de las secreciones de las glándulas sexuales accesorias**

1. Las vesículas seminales secretan un líquido alcalino y viscoso que ayuda a neutralizar la acidez en el aparato reproductor femenino, provee fructosa para la producción de ATP por parte de los espermatozoides, contribuye a la motilidad y viabilidad espermática, y ayuda al semen a coagular luego de la eyaculación.
2. La próstata secreta un líquido lechoso, y levemente ácido que ayuda a coagular el semen luego de la eyaculación y posteriormente desintegra el coágulo.
3. Las glándulas bulbouretrales (de Cowper) secretan un líquido alcalino que neutraliza el eritorno ácido de la uretra y un moco que lubrica las paredes de la uretra y la punta del pene durante las relaciones sexuales.

¿Cuál de las glándulas sexuales accesorias produce la mayor parte del líquido seminal?

y termina en el anillo inguinal superficial (subcutáneo o externo) (véase fig. 28-2), en una apertura un tanto triangular en la aponeurosis del músculo oblicuo externo del abdomen. En la mujer sólo lo atraviesan el ligamento redondo del útero y el nervio ilioinguinal.

### Vasectomía

El principal método de esterilización para los hombres es la **vasectomía** (-ectomía, de *ektomée*, corte), en la cual se remueve una porción de cada conducto deferente. Se realiza una incisión a cada lado del escroto, se localizan y se cortan los conductos ligando cada extremo en dos sitios con puntos de sutura, luego se extrae la porción entre las ligaduras. Si bien la producción de espermatozoides continúa en los testículos, los espermatozoides ya no podrán llegar al exterior. Éstos se degeneran y son destruidos por fagocitosis. Debido a que los vasos sanguíneos no se cortan, los niveles de testosterona en sangre permanecen normales, por lo que la

vasectomía no tiene efecto sobre el deseo y el desempeño sexual. Si el procedimiento se efectúa correctamente, posee una eficacia cercana al 100%. Puede revertirse, pero las posibilidades de recuperar la fecundidad son sólo del 30-40%. ■

### Conductos eyaculadores

Cada **conducto eyaculador** (eyacular = expulsar súbitamente) mide 2 cm de largo y está formado por la unión del conducto de la vesícula seminal y la ampolla del conducto deferente (fig. 28-9). Los conductos eyaculadores se forman justo por encima de la base (porción superior) de la próstata y la atraviesan en sentido anterior e inferior. Terminan en la uretra prostática, donde eyectan espermatozoides y las secreciones de la vesícula seminal inmediatamente antes de que el semen se libere desde la uretra hacia el exterior.

### Uretra

En los hombres, la **uretra** es el conducto terminal tanto para el aparato reproductor como para el aparato urinario; sirve como una vía de salida tanto para el semen como para la orina. Con alrededor de 20 cm de largo, pasa a través de la próstata, los músculos profundos del periné y el pene, y se subdivide en tres partes (véase figs. 28-1 y 26-22). La **uretra prostática** tiene 2 a 3 cm de largo y pasa a través de la próstata. A medida que el conducto continúa en sentido inferior, atraviesa los músculos profundos del periné, donde se la conoce como **uretra membranosa**. La **uretra membranosa** mide 1 cm de largo. Cuando el conducto atraviesa el cuerpo esponjoso del pene, se denomina **uretra esponjosa** (peneana), que mide alrededor de 15-20 cm de largo. La uretra esponjosa termina en el orificio uretral externo. La histología de la uretra masculina fue descrita en el capítulo 26.

### ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

- ¿Qué conductos transportan los espermatozoides dentro de los testículos?
- Describa la localización, estructura y funciones del epidídimo, conducto deferente y conducto eyaculador.
- Mencione la localización de las tres subdivisiones de la uretra masculina.
- Describa el trayecto que realizan los espermatozoides en el sistema de conductos desde los túbulos seminíferos hasta la uretra.
- Mencione las estructuras que forman el cordón espermático.

### Glándulas sexuales accesorias

Los conductos del aparato reproductor masculino almacenan y transportan a los espermatozoides, pero son las **glándulas sexuales accesorias** las que secretan la mayor parte del líquido que forma al semen. Las **glándulas sexuales accesorias** son las vesículas seminales, la próstata y las glándulas bulbouretrales.

### Vesículas seminales

Las **vesículas seminales** o **glándulas seminales** son un par de estructuras complejas en forma de bolsa, de unos 5 cm de largo, ubicadas en sentido posterior a la base de la vejiga urinaria y anterior al recto (fig. 28-9). Secretan un líquido alcalino y viscoso que contiene fructosa (un azúcar monosacárido), prostaglandinas y proteínas de la coagulación diferentes de las sanguíneas. La naturaleza alcalina de los líquidos seminales ayuda a neutralizar la acidez de la uretra masculina y el aparato reproductor femenino, que de otra manera inactivaría y mataría a los espermatozoides. Los espermatozoides utilizan fructosa para la producción de ATP. Las prostaglandinas contribuyen a la motilidad y viabilidad espermática y también podrían estimular las contracciones del músculo liso en el aparato reproductor femenino. Las proteínas de la coagulación ayudan a que el semen se coagule luego de ser eyaculado. El líquido secretado por las vesículas seminales normalmente constituye alrededor del 60% del volumen total del semen.

### Próstata

La **próstata** es una glándula única, con forma de rosquilla, de un tamaño similar al de una pelota de golf. Mide unos 4 cm de lado a lado, alrededor de 3 cm de arriba hacia abajo y alrededor de 2 cm de adelante hacia atrás. Se encuentra debajo de la vejiga urinaria y rodea la uretra prostática (fig. 28-9). La próstata crece lentamente desde el nacimiento hasta la pubertad. Luego se expande rápidamente hasta los 30 años; a partir de esa edad comúnmente permanece estable hasta los 45 años, y luego puede agrandarse más.

La próstata segrega un líquido lechoso y levemente ácido (pH alrededor de 6.5) que contiene distintas sustancias: 1) el **ácido cítrico** en el líquido prostático, usado por los espermatozoides para producir ATP a través del ciclo de Krebs; 2) diferentes **enzimas proteolíticas**, como el antígeno prostático-específico (PSA en inglés), pepsinógeno, lisozima, amilasa e hialuronidasa, encargadas de descomponer las proteínas de la coagulación secretadas por las vesículas seminales; 3) la función de la **fosfatasa ácida** secretada por la próstata se desconoce; 4) la **seminoplasmina** del líquido prostático es un antibiótico. La **seminoplasmina** podría actuar disminuyendo el crecimiento bacteriano en el semen y en el **aparato reproductor femenino**. Las secreciones prostáticas ingresan a la uretra prostática por los conductos prostáticos. Estas secreciones constituyen alrededor del 25% del volumen total del semen y contribuyen a la motilidad y viabilidad de los espermatozoides.

### Glándulas bulbouretrales

Las **glándulas bulbouretrales** o **glándulas de Cowper** son un par de glándulas del tamaño de un guisante. Se localizan debajo de la próstata a cada lado de la uretra membranosa, entre los músculos profundos del periné, y sus conductos se abren en el interior de la uretra esponjosa (fig. 28-9). Durante la excitación sexual, las glándulas bulbouretrales segregan un líquido alcalino al interior de la uretra que protege a los espermatozoides, **neutralizando** la acidez de la orina en la uretra. A su vez también secretan moco que lubrica el extremo del pene y las paredes de la uretra, disminuyendo el número de espermatozoides dañados durante la eyaculación.

## Semen

El **semen** es una mezcla de espermatozoides y **líquido seminal**, un líquido formado a partir de las secreciones de los túbulos seminíferos, las vesículas seminales, la próstata y las glándulas bulbouretrales. El volumen de semen de una eyaculación normal es de 2,5-5 mL, con 50-150 millones de espermatozoides/mL. Cuando este valor cae por debajo de los 20 millones/mL, se considera que el varón es infértil. Es necesario que haya un número muy grande de espermatozoides para la fecundación exitosa debido a que sólo una pequeña fracción logra alcanzar al ovocito secundario.

A pesar de la leve acidez del líquido prostático, el semen tiene un pH ligeramente alcalino de 7,2-7,7 debido al pH elevado y el gran volumen de líquido aportado por las vesículas seminales. Las secreciones prostáticas le dan al semen una apariencia lechosa, y los líquidos de las vesículas seminales y las glándulas bulbouretrales le dan su consistencia pegajosa. El líquido seminal provee a los espermatozoides de un medio de transporte, nutrientes y protección del medio ácido hostil que representan la uretra masculina y la vagina femenina.

Una vez eyaculado, el semen líquido se coagula en los siguientes 5 minutos debido a la presencia de proteínas de la coagulación aportadas por la secreción de las vesículas seminales. El papel funcional de la coagulación del semen no se conoce, pero se sabe que las proteínas involucradas son distintas de las que producen la coagulación en la sangre. Luego de 10 a 20 minutos, el semen se vuelve nuevamente líquido debido a que proteínas como el antígeno prostático-específico (PSA) y otras enzimas proteolíticas producidas por la próstata destruyen la estructura del coágulo. El retraso en la liquefacción del coágulo o una liquefacción retardada puede causar inmovilización completa o parcial de los espermatozoides, impidiendo así su desplazamiento a través del cuello uterino. La presencia de sangre en el semen se llama **hemospermia** (hemo-, de *haima*, sangre, y -spermia, de *sperma*, semilla). En la mayoría de los casos, es causada por inflamación de los vasos sanguíneos que rodean a las vesículas seminales y habitualmente se trata con antibióticos.

## Pene

El **pene** contiene a la uretra y es la vía de paso para la eyaculación del semen y la excreción de la orina (fig. 28-10). Tiene forma cilíndrica y se divide en un cuerpo, el glande y una raíz. El **cuerpo del pene** se compone de tres masas cilíndricas de tejido, cada una rodeada por un tejido fibroso llamado **túnica albugínea** (fig. 28-10). Las dos masas dorsolaterales son los **cuerpos cavernosos**. La masa ventromedial más pequeña es el **cuerpo esponjoso**, que contiene a la uretra esponjosa y la mantiene abierta durante la eyaculación. Fascia y piel encierran a las tres masas, constituidas por tejido eréctil. El **tejido eréctil** se compone de numerosos sinusoides sanguíneos (espacios vasculares) revestidos por células endoteliales y rodeados por músculo liso y tejido conectivo elástico.

El extremo distal del cuerpo esponjoso forma una porción levemente agrandada, con forma de bellota llamada **glande**; su límite es la **corona (surco balanoprepucial)**. La porción distal de la uretra se extiende por dentro del glande hasta una abertura en forma de ranura, el **orificio uretral externo**. Cubriendo el glande en forma laxa en los penes no circuncisos se encuentra el **prepucio**.

La **raíz del pene** es la porción fija (porción proximal) de éste. Se divide en el **bulbo del pene**, la porción ensanchada de la base del cuerpo esponjoso, y los **pilares del pene**, dos porciones separadas y más estrechas de los cuerpos cavernosos. El bulbo está unido a la superficie inferior de los músculos profundos del periné, con el músculo bulboesponjoso por debajo. Cada pilar del pene se encuentra unido a la rama del isquion y la rama inferior del pubis, rodeado por el músculo isquiocavernoso (véase fig. 11-13). La contracción de estos músculos esqueléticos permite la eyaculación. El peso del pene es sostenido por dos ligamentos que se continúan en la fascia del pene: 1) el **ligamento fundiforme**, originado de la parte inferior de la línea alba y 2) el **ligamento suspensorio** del pene, originado en la sínfisis del pubis.

## Circuncisión

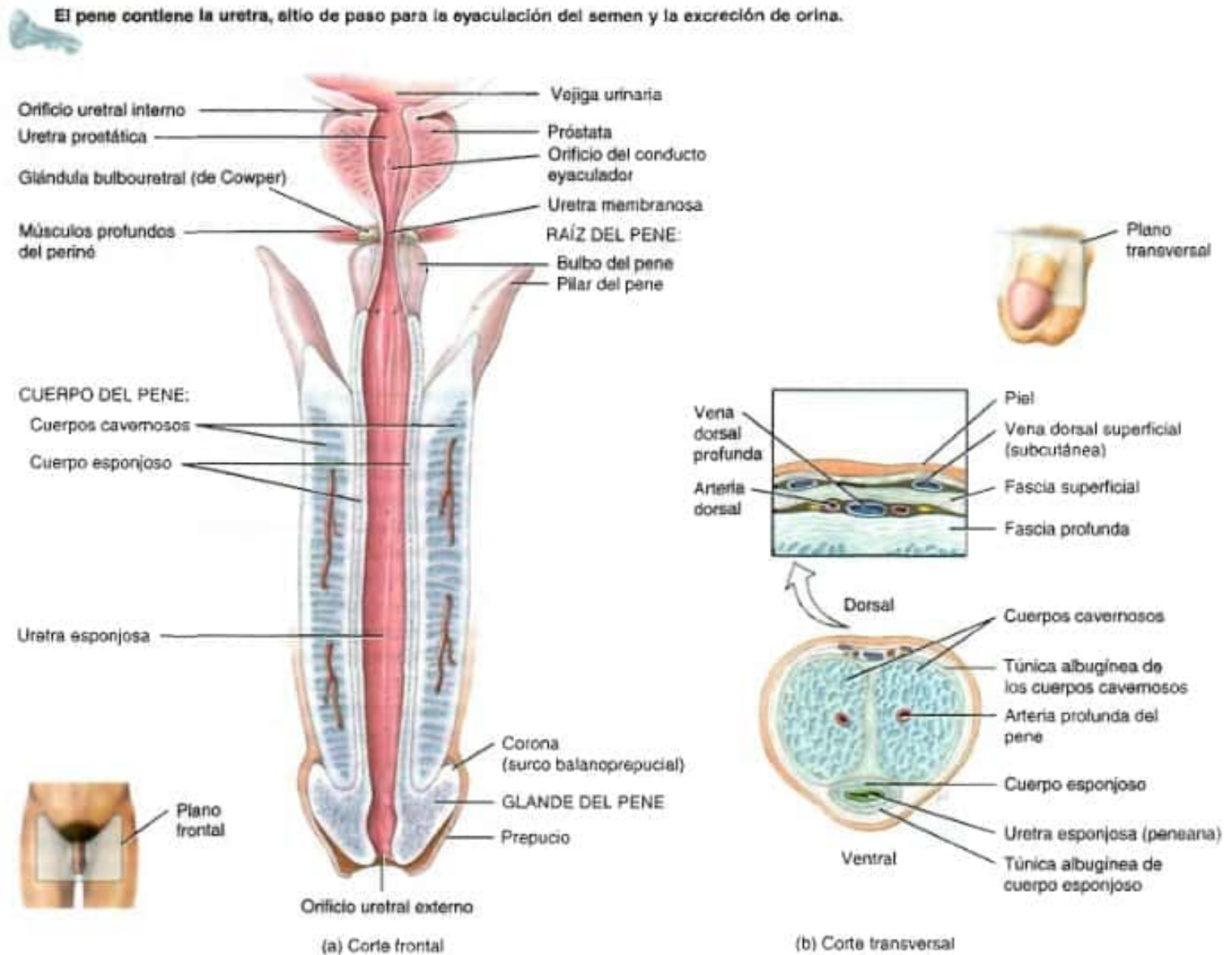
La **circuncisión** (cortar alrededor) es el procedimiento quirúrgico por el cual se extirpa una parte o todo el prepucio. Habitualmente se realiza luego del parto, 3 a 4 días después del nacimiento, o en el octavo día como parte de un rito religioso judío. A pesar de que la mayoría de los profesionales de la salud no encuentra justificación médica para la circuncisión, algunos creen que tiene ciertos beneficios, como menor riesgo de infecciones urinarias, protección contra el cáncer de pene y, posiblemente, menor riesgo de contraer enfermedades de transmisión sexual. De hecho, en estudios realizados en diversos pueblos de África se demostraron menores tasas de infección con HIV en los hombres circuncidados. ■

Al producirse estimulación sexual (visual, táctil, auditiva, olfativa o imaginada), fibras parasimpáticas provenientes de la porción sacra de médula espinal inician y mantienen la **erección**, es decir, el aumento de tamaño y endurecimiento del pene. Las fibras parasimpáticas liberan y estimulan la producción local de óxido nítrico (NO). El NO produce la relajación de las fibras musculares lisas en las paredes de las arteriolas que nutren a los tejidos eréctiles, lo que permite la dilatación de los vasos sanguíneos. De esta forma, grandes cantidades de sangre ingresan a los tejidos eréctiles del pene. El NO también produce la relajación del músculo liso en los tejidos eréctiles, aumentando así el tamaño de los sinusoides sanguíneos. La combinación del flujo sanguíneo aumentado y la dilatación de los sinusoides sanguíneos da como resultado la erección. La expansión de los sinusoides sanguíneos produce también la compresión de las venas que drenan al pene; que contribuye a mantener la erección.

El término **priapismo** se refiere a la erección persistente y habitualmente dolorosa de los cuerpos cavernosos del pene, sin relación con el deseo sexual o la excitación. Esta alteración puede durar muchas horas y se acompaña de dolor espontáneo y a la palpación. Se produce como resultado de anomalías en los vasos sanguíneos y los nervios, habitualmente en respuesta a medicación utilizada para producir la erección en hombres con trastornos eréctiles. Otras causas son lesión de la médula espinal, leucemia, anemia falciforme y tumor pelviano.

La **eyaculación**, la liberación brusca de semen desde la uretra hacia el exterior, es un reflejo simpático coordinado por la región lumbar de la médula espinal. Como parte de este reflejo, el esfínter

**Fig. 28-10 Estructura interna del pene.** El recuadro en (b) muestra detalles de la piel y fascias.



¿Qué masas tisulares forman el tejido eréctil del pene, y por qué se vuelven rígidas durante la excitación sexual?

de músculo liso en la base de la vejiga urinaria se cierra, evitando que la orina sea expulsada durante la eyaculación y que el semen ingrese a la vejiga urinaria. Incluso, antes de que la eyaculación ocurra, las contracciones peristálticas del epidídimo, del conducto deferente, de las vesículas seminales, de los conductos eyaculatorios y de la próstata impulsan el semen a la porción peneana de la uretra (uretra esponjosa). Típicamente, esto lleva a la **emisión**, que es la secreción de un pequeño volumen de semen antes de la eyaculación. La emisión también puede ocurrir durante el sueño (emisión o polución nocturna). La musculatura del pene (porciones bulboesponjosa e isquiocavernosa y los músculos transversos superficiales del periné), innervada por el nervio pudendo, también se contrae durante la eyaculación (véase fig. 11-13).

Una vez que la estimulación sexual del pene termina, las arteriolas que proveen la sangre a los tejidos eréctiles y al músculo liso del tejido eréctil se contraen, disminuyendo el tamaño de los sinusoides sanguíneos. Esto alivia la presión en las venas tributarias del pene y permite que la sangre drene a través de ellas. En consecuencia, el pene vuelve a su estado flácido (relajado).

### Eyaculación precoz

La **eyaculación precoz** es la eyaculación que ocurre en forma muy anticipada, por ejemplo, durante la excitación previa a la penetración, durante la penetración, o poco después de ésta. Es generalmente producida por ansiedad, otras causas psicológicas, o un prepucio o