



6 Reproducción y desarrollo embrionario

Desarrollo de las células germinales

La naturaleza prepara con mucha anticipación la generación de un nuevo organismo humano. Primero, tanto en las gónadas femeninas como masculinas comienzan a madurar las células germinales (ovocitos y espermatozoides). Queremos destacar dos particularidades de esta maduración de las células germinales que las diferencian de otras divisiones celulares:

- En un determinado estadio de la diferenciación los cromosomas se disponen de tal forma que se produce un intercambio genético y así un reordenamiento completo del material genético. Ésta es la causa de la variabilidad de los caracteres dentro de la especie.
- Las células germinales completamente maduras sólo contienen la mitad del material genético, es decir, un juego de cromosomas. De esta manera, cuando en la fecundación se juntan un ovocito y un espermatozoide se forma un juego completo de cromosomas y así una célula completa.

La maduración de las células germinales femeninas comienza ya antes del nacimiento, pero luego de éste, se detiene hasta la pubertad en el estadio madurativo en el que ocurre el intercambio genético. El número de ovocitos embrionarios, que al comienzo es de alrededor de 7 millones, antes del nacimiento se reduce a 1-2 millones. Hasta la pubertad, este número continúa decreciendo, de forma que al comienzo de la menstruación en el ovario sólo quedan aproximadamente 200.000 células germinales viables. En la pubertad, bajo la influencia hormonal de la hipófisis, uno de los ovocitos localizado en la corteza del ovario se convierte rápidamente en una célula que puede ser fecundada. Durante este proceso, en el ovario se producen hormonas sexuales femeninas (estrógenos) que causan un engrosamiento de la mucosa uterina. Nuevamente bajo la influencia hormonal de la hipófisis, el ovocito, que se halla muy aumentado de tamaño (diámetro de aproximadamente 120-200 μm), es

expulsado hacia las trompas de Falopio (ovulación), rodeado de células foliculares. Aquí ocurre la fecundación, es decir, la unión entre un ovocito y un espermatozoide. La fecundación ocurre en promedio entre el día 14 y 16 luego del sangrado menstrual. Luego, las células foliculares remanentes en el ovario comienzan a producir más hormonas sexuales femeninas (gestágenos, progesterona), que estimulan la formación de la placenta. En el caso de que no se produzca la fecundación, la mucosa es expulsada (sangrado menstrual). Este ciclo menstrual, así como el ciclo de la maduración de los ovocitos, se repite en promedio cada 28 días.

A diferencia de los ovocitos, los espermatozoides son muy pequeños y, a partir de la pubertad, se producen de por vida en forma continua en los testículos. Durante la eyaculación se pueden expulsar hasta 300 millones de espermatozoides a través del conducto deferente y la uretra peeneana.

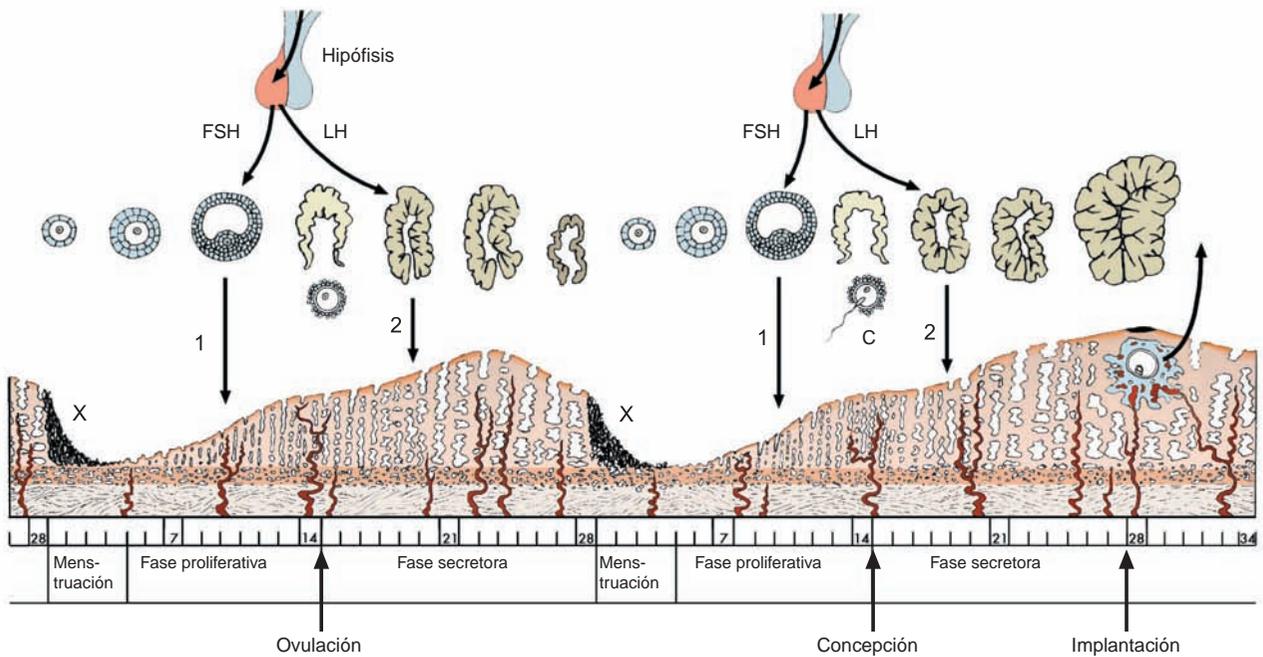


En este proceso a los espermatozoides se les agrega un medio nutritivo y moco de las distintas glándulas de los órganos genitales masculinos (próstata, glándulas seminales).

La próstata aporta la mayor parte del líquido seminal y activa los espermatozoides para que puedan realizar el largo recorrido a través del útero y las trompas de Falopio.

Las variaciones de la composición y de la concentración hormonal pueden perturbar la maduración de los ovocitos, de forma que no ocurre la ovulación y así, la fecundación no es posible. El efecto de la mayoría de las pastillas anticonceptivas se debe a una alteración de la concentración hormonal.

Con la edad, la composición hormonal cambia de manera fisiológica. Debido a ello, no se lleva a cabo la maduración de los ovocitos, de forma que tampoco se producen o se producen menos estrógenos y gestágenos y el endometrio ya no aumenta de tamaño. Por eso también desaparece el sangrado menstrual. Se produce la denominada menopausia.



Cambios que se producen en el endometrio durante el ciclo menstrual (mitad izquierda de la figura) y luego de la fecundación (mitad derecha de la figura). Se muestran las hormonas producidas en las gónadas así como las hormonas hipofisarias.

Escala inferior = ciclo o desarrollo en días, x = menstruación, 1 = estradiol, 2 = progesterona, FSH = hormona folículoestimulante, LH = hormona luteinizante, C = concepción.



Embarazo y desarrollo embrionario

Fecundación (concepción) y primeros estadios del desarrollo

Durante las relaciones sexuales, el pene se endurece por el rápido llenado de sus vasos sanguíneos. En este proceso, el óxido nítrico (NO) que es liberado por los nervios vegetativos juega un papel importante.

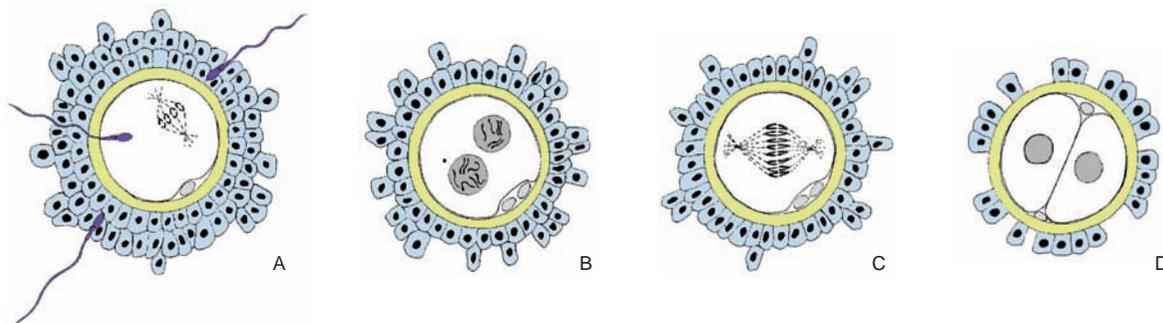
Durante el coito, el **líquido seminal** es liberado hacia el fondo del saco posterior de la vagina. Luego, los espermatozoides deben atravesar el útero y la trompa de Falopio antes de alcanzar el ovocito en la parte superior de ésta. De aproximadamente 300 millones de espermatozoides libera-

dos, sólo llegan a este punto alrededor de 500. Y sólo un espermatozoide puede lograr ingresar en el ovocito.

La fusión entre el ovocito y el espermatozoide representa la **fecundación** (concepción). En ese momento se genera una célula completa con un juego completo de cromosomas: este embrión de un nuevo ser se denomina **cigoto**.

Ya pocas horas después de la fecundación, el cigoto comienza a dividirse. Se genera una **mórula**, que en total no supera el tamaño del cigoto y lentamente desciende por la trompa de Falopio al útero. Entretanto, el endometrio se preparó para la implantación del embrión. Se encuentra más irrigado y es engrosado por glándulas que aumentan en forma progresiva de tamaño, de forma que puede alimentar al embrión.

Las alteraciones que se producen en el sistema nervioso vegetativo (p. ej., por estrés emocional, diabetes o hipertensión arterial) pueden afectar el proceso de llenado de sangre y así la erección. Existen medicamentos que potencian la liberación de NO y con ello el llenado de sangre. El ejemplo más conocido de esto es el Viagra®.

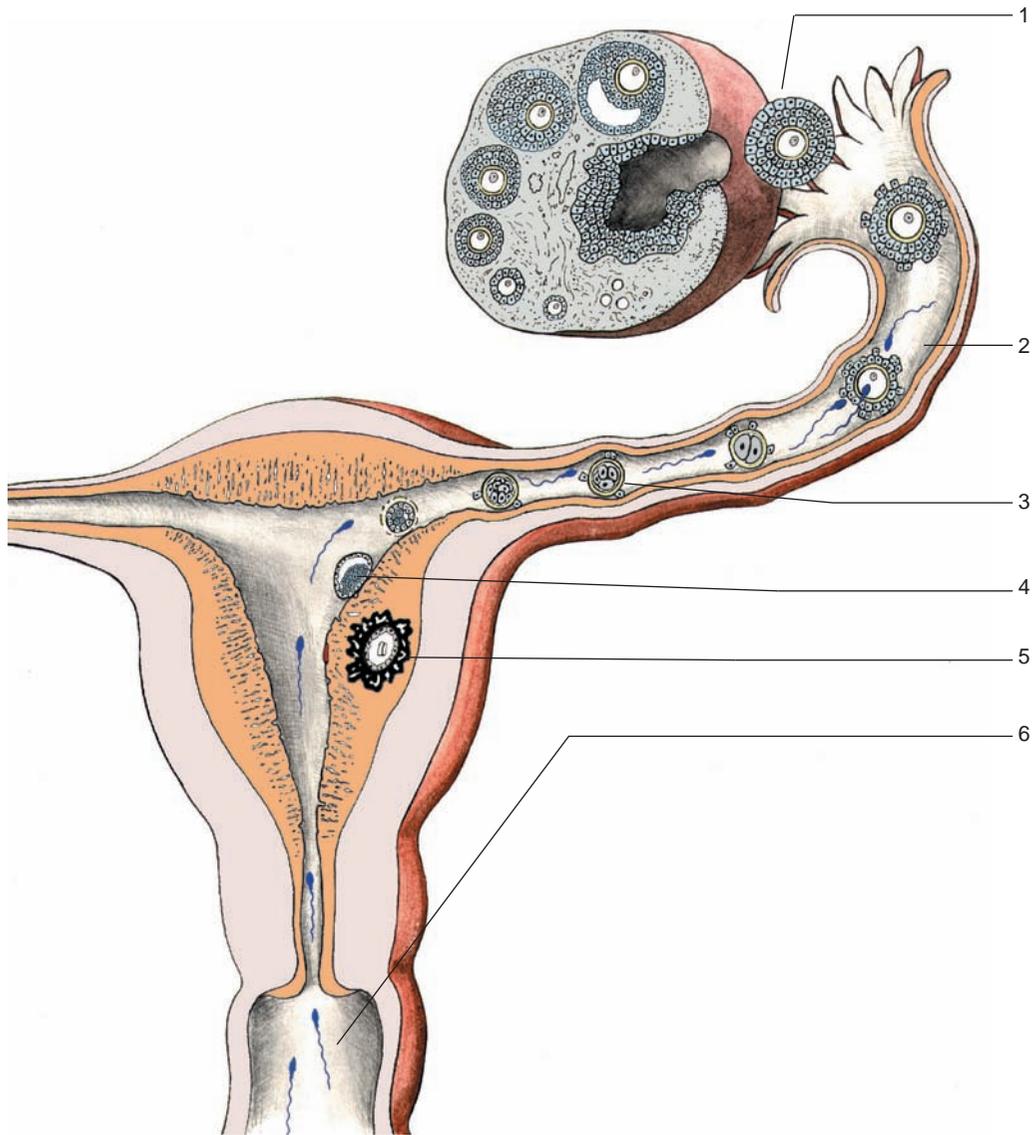


Fecundación. La unión entre el ovocito y el espermatozoide y los primeros estadios de desarrollo que siguen.

A = Ovocito rodeado de una capa de células. Un espermato-

zoide ingresó en el ovocito (concepción). B = Ovocito con los dos pronúcleos. C = Preparación para la primera división.

D = Primera división celular.



Ovario, trompa de Falopio y útero. Representación esquemática de los primeros estadios del desarrollo embrionario. Luego de la expulsión del ovocito del ovario (ovulación) y de la fecundación en la porción superior de la trompa de Falopio, la célula germinal fecundada se dirige hacia abajo, al útero. Durante este pro-

ceso se divide varias veces, de forma que se genera una mórula y luego un blastocisto. El blastocisto se inserta en el útero en el 6° o 7° día (implantación) y produce unas proyecciones vellositarias que son el primer esbozo de la placenta.

- 1 Ovulación
- 2 Trompa de Falopio
- 3 Embrión como mórula
- 4 Blastocisto

- 5 Estadio temprano del desarrollo embrionario con el esbozo de la placenta
- 6 Vagina con espermatozoides



Cuando la mórula llega al útero, rápidamente se transforma en una esfera vesicular (**blastocisto**) que se adhiere al endometrio. Alrededor del 6° día posterior a la fecundación este blastocisto penetra en el endometrio por un mecanismo activo, mediante prolongaciones celulares que “comen” la mucosa (**implantación**).

Dado que para la madre el embrión en cierta forma representa un “cuerpo extraño”, su sistema

inmune también puede reaccionar con una respuesta defensiva. De hecho, existen mujeres que producen anticuerpos contra el embrión y lo rechazan. Más del 50% de estos embarazos fallidos espontáneos (abortos) se deben a estas reacciones inmunológicas. En condiciones normales, el endometrio desarrolla mecanismos para evitar este rechazo en forma activa.

Embarazo tubario y abdominal

El embarazo tubario y el abdominal son complicaciones posibles que se pueden producir cuando existen procesos cicatrizales en las trompas de Falopio. Los embarazos tubarios son, con gran diferencia, los más frecuentes. En estos casos los espermatozoides –debido a que éstos son muy

pequeños– pueden llegar al ovocito, pero el ovocito fecundado (muy grande) no puede llegar al útero. El embrión se implanta en la mucosa de la trompa de Falopio (embarazo tubario). De la misma forma es posible que el embrión caiga a través de la abertura superior de la trompa de Falopio a la cavidad abdominal y se implante allí (embarazo abdominal).

Si una pareja no puede tener hijos, por ejemplo porque la trompa de Falopio de la mujer se ha obstruido como consecuencia de procesos infecciosos, hoy en día existe la posibilidad de lograr la fecundación en forma artificial “in vitro”. Cuando el embrión alcanzó el estadio del desarrollo de mórula o blástula, puede ser implantado en el útero (fertilización asistida). A partir de ese momento, se puede desarrollar un embarazo completamente “normal”.

Hasta ahora sólo se ha logrado desarrollar artificialmente un embrión humano en los estadios de la primera semana hasta de la implantación. A partir de ese momento, se requiere la alimentación desde la mucosa materna. Desde el punto de vista jurídico, la vida comienza a más tardar 14 días luego de la concepción, recién después de la implantación.

Un embrión que se implanta fuera del útero siempre representa un grave riesgo para la embarazada. Si el embrión continúa creciendo en la trompa de Falopio luego de unos días o semanas puede llevar a que la trompa de Falopio se rompa. Durante una rotura de esta índole, pueden producirse hemorragias que implican riesgo vital.



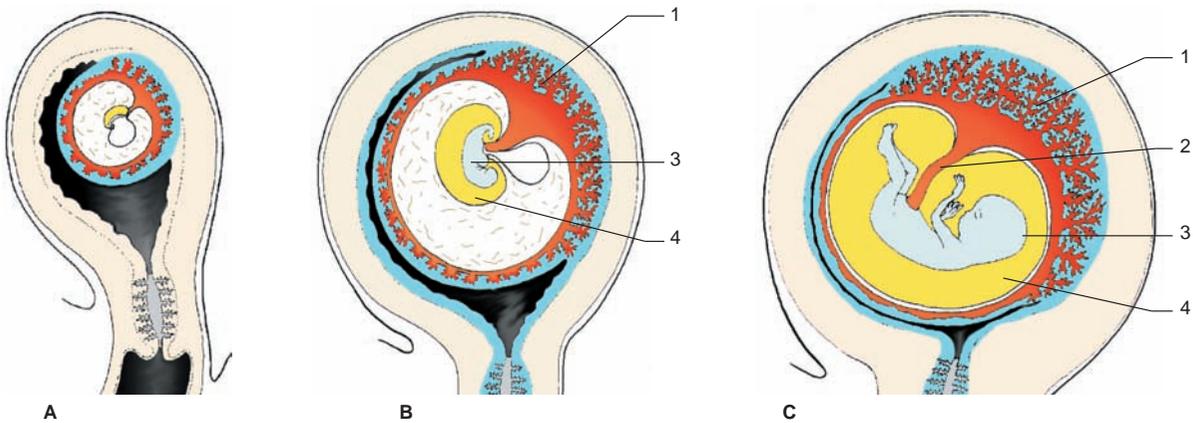
Desarrollo del embrión en el útero

Luego de la implantación del blastocisto, el embrión se desarrolla rápidamente en el endometrio. Prolongaciones con forma de raíz (vellosidades) crecen de todos los costados y crean un poderoso “órgano alimenticio”. Las prolongaciones, que continúan dividiéndose, están cubiertas por una capa celular homogénea que puede cumplir todas las funciones que el embrión tiene recién más adelante con sus propios órganos. La respiración, el metabolismo, la excreción y la regulación hormonal ya se producen aquí antes de que existan órganos para ello. Por lo tanto, el organismo aquí ya está completamente presente en un sentido **funcional** (no por sus órganos).

Sin embargo, el desarrollo del embrión ocurre en el interior de la vesícula y no en la “esfera” que la rodea y forma las vellosidades. Allí, tempranamente se desarrollan dos cavidades (la cavidad

amniótica y el saco vitelino). En el sitio donde las dos cavidades se unen, se genera una superficie denominada **disco embrionario**. Estas “hojas” superpuestas del disco embrionario (hoja externa y hoja interna, ectodermo y endodermo) representan los esbozos de la piel y el sistema nervioso (**ectodermo**) y del sistema digestivo (**endodermo**) del embrión. Entre estas dos hojas embrionarias se produce una tercera (**mesodermo**), de la que se generan los tejidos que dan forma al cuerpo (p. ej., huesos, músculos, tejido conectivo y vasos sanguíneos). Este tejido de rápido crecimiento se convierte en el cuerpo del embrión.

El paso de un disco embrionario plano al **cuerpo embrionario** (es decir, la invaginación hacia el interior) ocurre aproximadamente en el día 17 después de la fecundación. Ya en el día 21 se puede reconocer el sistema nervioso. En el día 22 comienza a latir el corazón. Y en el día 54 la cara del embrión comienza a mostrar facciones humanas.



Tres estadios del desarrollo del embrión en el útero (esquema). Las vellosidades (rojo) que primero rodean a la totalidad del embrión luego se concentran sobre un lado de las envolturas y forman la placenta. El embrión flota en una cavidad en crecimiento (cavidad amniótica) que contiene el líquido amniótico.

El cordón umbilical conecta al embrión con la placenta.

A = semana 4, B = semana 6, C = semana 20.

1 Placenta

2 Cordón umbilical

3 Embrión

4 Cavidad amniótica con líquido amniótico



En la semana 9, el sistema nervioso ya maduró lo suficiente como para que puedan aparecer movimientos bruscos y reflejos. ¡En este estadio el embrión ya puede chuparse el pulgar!

Tal como hemos visto, el desarrollo del embrión humano no es un simple proceso de división celular. El ovocito fecundado ya representa el “todo”, que luego de la formación del cuerpo a partir del disco embrionario de a poco se va diferenciando para formar los distintos órganos y sistemas de órganos. Las células especializadas en determinadas funciones son las últimas en aparecer en esta

secuencia. Por lo tanto, el desarrollo ocurre **a partir del total hacia las partes** y no a la inversa, de una célula al total del organismo. Por eso, si se desea interrumpir este proceso de desarrollo en forma artificial (aborto) no existe un punto de corte natural a partir del cual se podría decir: a partir de aquí somos seres humanos, y antes de ello sólo un montón de células. Ya luego de la fecundación el ser humano es concebido y existe como un todo. Sin embargo, una condición básica para el desarrollo del embrión es su implantación en el endometrio materno (semana 2) y el desarrollo de la placenta.



Imagen de una ecografía 3D de un feto de 28 semanas en el útero. (Gentileza de W. Beckmann, de la Universitäts-Frauenklinik, Erlangen).



Embrión humano (día 54: fin del período embrionario). El embrión flota en la cavidad amniótica, sujeto por el cordón umbilical.

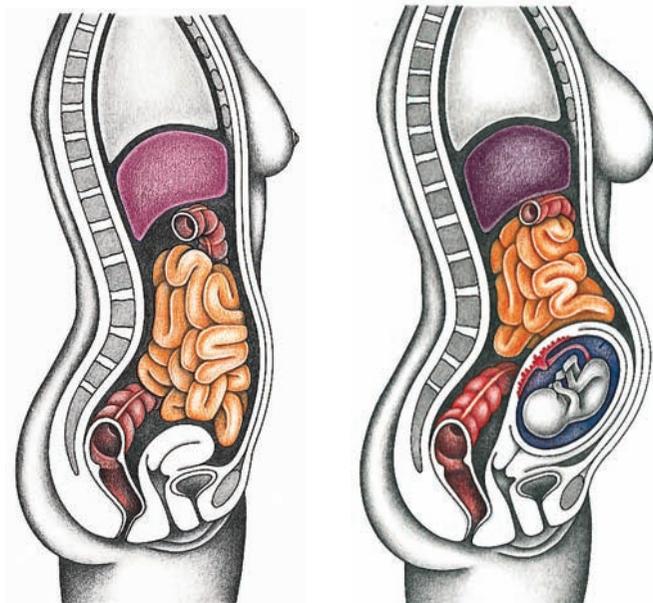


Placenta y cavidad amniótica

Cuanto más crece el embrión, más se concentra el sistema de vellosidades sobre uno de los lados y continúa diferenciándose hacia la placenta. Ésta queda conectada al embrión a través del cordón umbilical. Los vasos sanguíneos del cordón umbilical contienen nutrientes y oxígeno de la madre al embrión y se llevan los productos del metabolismo y el dióxido de carbono. La placenta cumple para el niño, entre otras, la función de los pulmo-

nes. Recién luego del nacimiento y al cortar el cordón umbilical, el pulmón del niño se despliega de tal forma que el niño puede respirar por sí mismo.

En forma paralela a la placenta, se genera una gran cavidad llena de líquido (cavidad amniótica), en la que el embrión puede desarrollarse y moverse en forma protegida. Poco antes del nacimiento se rompe la bolsa amniótica y el líquido amniótico sale al exterior. Luego del nacimiento también se expulsa la placenta (alumbramiento).



Corte longitudinal a través del cuerpo de una mujer no embarazada (izquierda) y una mujer embarazada (derecha). Se puede observar con claridad el desplazamiento de las vísceras hacia arriba.

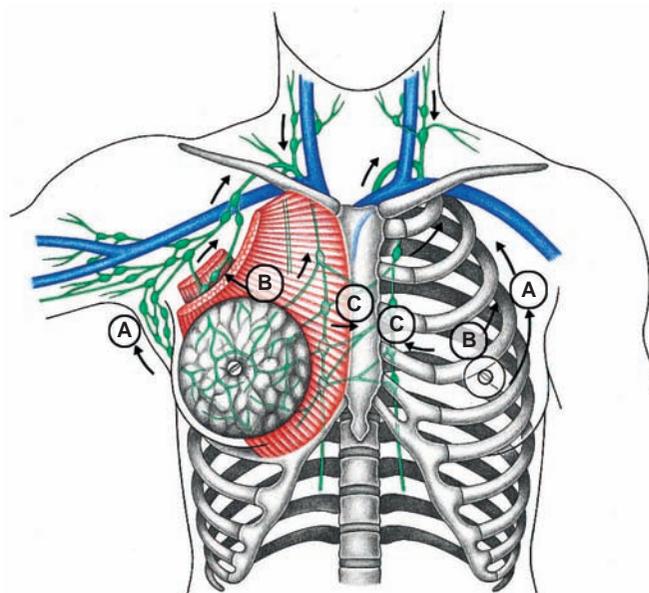


Glándula mamaria durante el embarazo y la lactancia

A partir del segundo mes de embarazo, la glándula mamaria de la mujer, localizada por encima del pectoral mayor, comienza a crecer bajo la influencia hormonal. Desde el 7° u 8° mes de embarazo la glándula mamaria comienza a producir un líquido denso y amarillento (calostro). Sin embargo, la verdadera secreción de la glándula es inhibida hasta el

nacimiento. Recién al tercer día después del nacimiento se produce la leche materna definitiva, que se caracteriza por su contenido alto de grasas y proteínas, así como de hidratos de carbono, vitaminas y también anticuerpos (IgA). Estos anticuerpos que provienen del intestino materno son de especial importancia para el recién nacido, ya que aún no puede producir anticuerpos propios. De esta forma, inmediatamente después del nacimiento ya se encuentra protegido frente a infecciones.

Por distintas razones, entre otras también para la prevención de alergias, hoy en día se recomienda alimentar al lactante únicamente con leche materna.



Vías de drenaje linfático (flechas) de la glándula mamaria. Verde = sistema de vasos linfáticos; A = drenaje principal a los ganglios linfáticos de la axila; B = drenaje entre los músculos pectorales a la axila; C = drenaje a los ganglios linfáticos claviculares o al mediastino anterior de la cavidad torácica.



Cuando en la mujer se producen tumores o infecciones en la glándula mamaria, el examen de las vías linfáticas es de especial importancia. La vía principal de drenaje linfático se dirige al hueso de la axila, en donde los ganglios linfáticos se pueden encontrar aumentados de tamaño.

Se debería realizar regularmente un examen de la glándula mamaria en búsqueda de ganglios linfáticos.



Preparado anatómico de la glándula mamaria femenina. El cuerpo de la glándula contiene mucho tejido adiposo y se extiende sobre el músculo pectoral mayor.

- 1 Glándula mamaria
- 2 Pezón