شارح: الجهاز التناسلي الأنثوي

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نحدِّد تراكيب الجهاز التناسلي الأنثوي، ونذكر وظائفها، ونَصِف كيفية تكوين البويضات في المبيض.

هل تعلم أن الأنثى عند ولادتها يكون لديها مليون بويضة تقريبًا؟ عند وصولها إلى سنِّ البلوغ، يقلُّ هذا العدد إلى حوالي 300 000 بويضة. وخلال سنوات الخصوبة التي يُمكن أن يَحدُث خلالها الإنجاب، تُطلِق 300–400 بويضة فقط من هذه البويضات!

والبويضات (ومفردها: البويضة)، هي الجاميتات الأنثوية، أو الخلايا الجنسية.

مصطلح رئيسي: البويضة

البويضة هي الخلية التناسلية الأنثوية أو الجاميت الأنثوي.

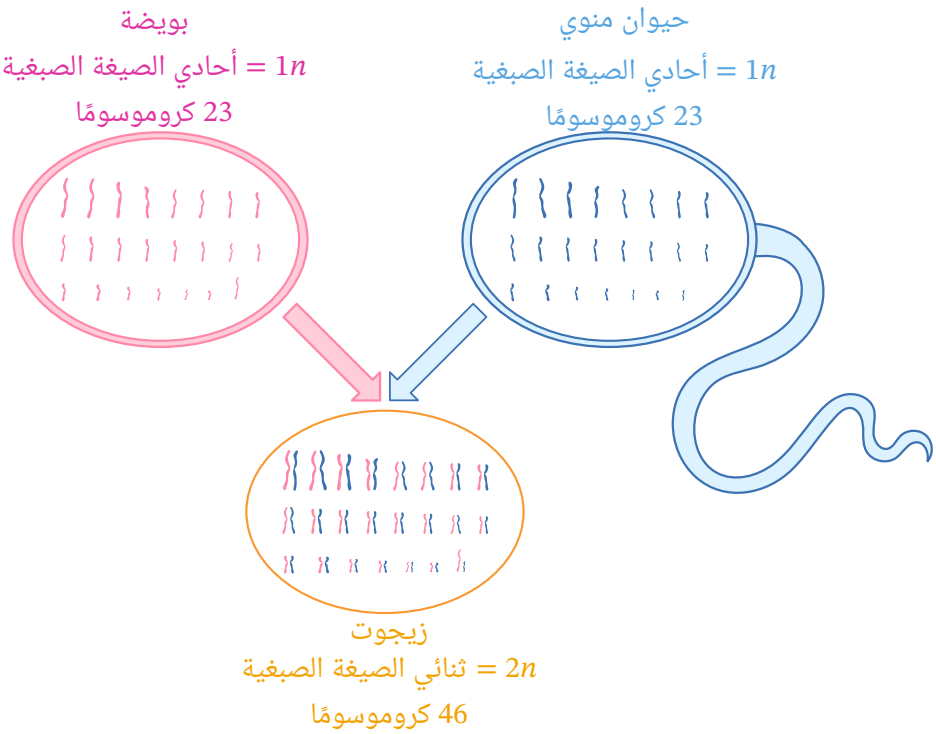
تعريف: الجاميت

الجاميتات هي الخلايا الجنسية في الكائن الحي، التي تحتوي على نِصْف المادة الوراثية للخلية الجسمية العادية.

تحتوي كلُّ بويضة على نِصْف المادة الوراثية للخلية الجسمية العادية، وبذلك تكون البويضات خلايا أحادية الصيغة الصبغية. وتُعَدُّ الحيوانات المنوية أيضًا أحادية الصيغة الصبغية، كما تَرَى في الشكل 1 الآتي.

مصطلح رئيسي: الخلية الأحادية الصيغة الصبغية

الخلية الأحادية الصيغة الصبغية خليةٌ تحتوي على مجموعةٍ واحدةٍ فقط من الكروموسومات (N).



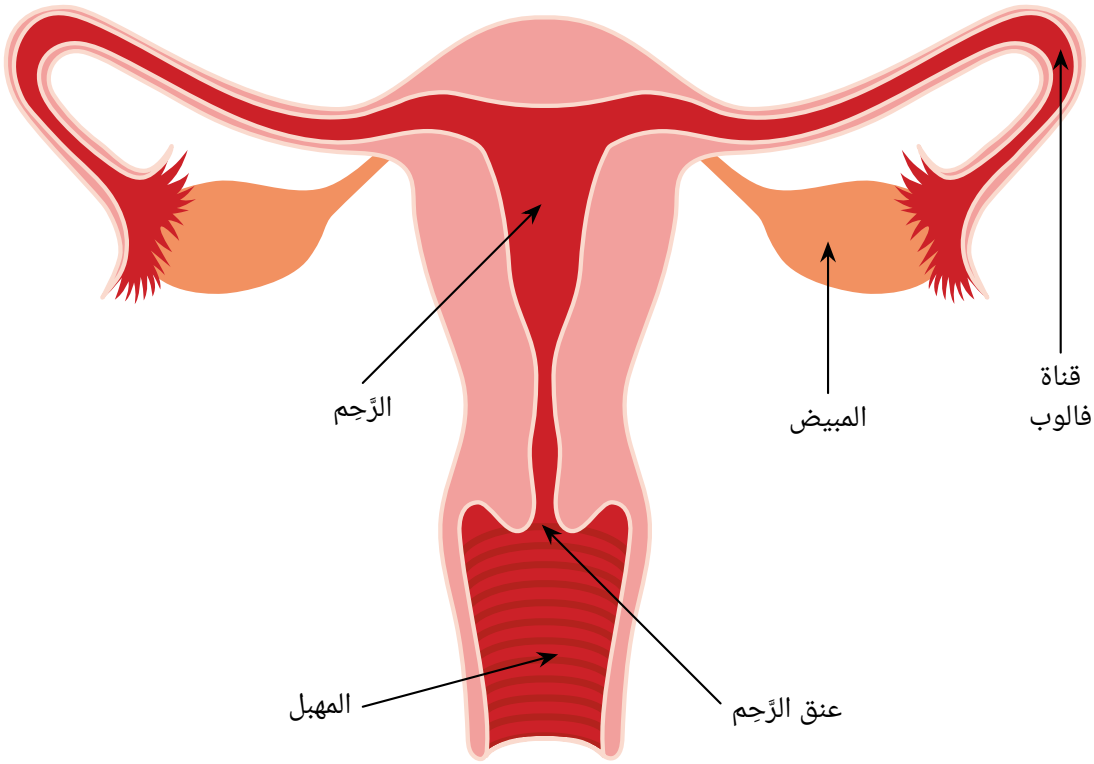
الشكل 1: شكلٌ يوضِّح كيف يتَّحِد اثنان من الجاميتات الأحادية الصيغة الصبغية: البويضة والحيوان المنوي معًا لتكوين زيجوت ثنائي الصيغة الصبغية يحتوي على مجموعة كاملة من الكروموسومات عددها 46 كروموسومًا.

ويرجع ذلك إلى أنه خلال عملية الإخصاب، عندما تتَّحِد البويضة مع الحيوان المنوي، يكوِّنان زيجوتًا تحتوي نواته على مجموعة كاملة من المادة الوراثية. إذن الزيجوت يكون ثنائي الصيغة الصبغية؛ لأن نواته تحتوي على مجموعة كاملة من الكروموسومات عددها 46 كروموسومًا.

مصطلح رئيسي: الخلية الثنائية الصيغة الصبغية

الخلية الثنائية الصيغة الصبغية خليةٌ تحتوي على مجموعتين كاملتين من الكروموسومات ($2N$) مرتَّبتين في أزواج متماثِلة.

دعونا نلقِ نظرةً على بعض التراكيب الأساسية في الجهاز التناسلي الأنثوي الذي يُمكنك رؤيتها في الشكل 2.



الشكل 2: شكلٌ يوضِّح تركيب الجهاز التناسلي الأنثوي. وهو يتكوَّن من مبيضين، كلٌّ منهما متَّصِل بالرَّحِم من خلال قناة فالوب. يؤدِّي الرَّحِم إلى عضو يُشبِه القناة يُسمَّى المهبل من خلال نسيج يُسمَّى عنق الرَّحِم.

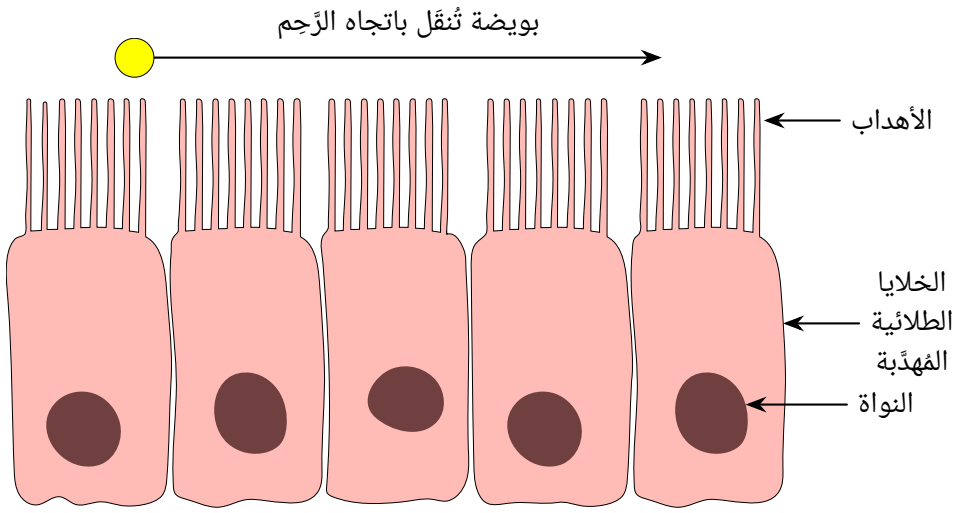
يحتوي الجهاز التناسلي الأنثوي على مبيضين، وهما عضوان صغيران بَيْضِيَّان في الشكل، في حجم حبَّة اللوز تقريبًا. يُعَدُّ المبيضان هما المسئولين عن إطلاق البويضات والهرمونات الجنسية.

مصطلح رئيسي: المبيضان

المبيضان (ومفردهما: مبيض) عضوان تناسليان أنثويان تُطلَق منهما البويضات والهرمونات.

يرتبط كلُّ مبيض بقناة تُسمَّى قناة فالوب أو قناة البويضات، لها فتحة على شكل قمع بالقرب من المبيض. عند إطلاق البويضات من المبيض، تستقبلها بروزات إصبعية الشكل عند طرف قناة فالوب المقابِلة لها، ثم تنتقل عبر قناة فالوب نحو الرَّحِم. وتُبطَّن قناة فالوب بخلايا طلائية مُهدَّبة مُزوَّدة بتراكيب على سطحها تُسمَّى الأهداب. تُساعِد هذه الأهداب في توجيه البويضة أو تحريكها في قناة فالوب نحو الرَّحِم، كما هو موضَّح في الشكل 3. وتُطلِق بعض الخلايا الموجودة في

غشاء قناة فالوب مخاطًا أيضًا للمُساعَدة في هذه الحركة. وعادةً ما تكون قناتا فالوب الموقع الذي يندمج فيه الحيوان المنوي مع البويضة إذا نجحت عملية الإخصاب.



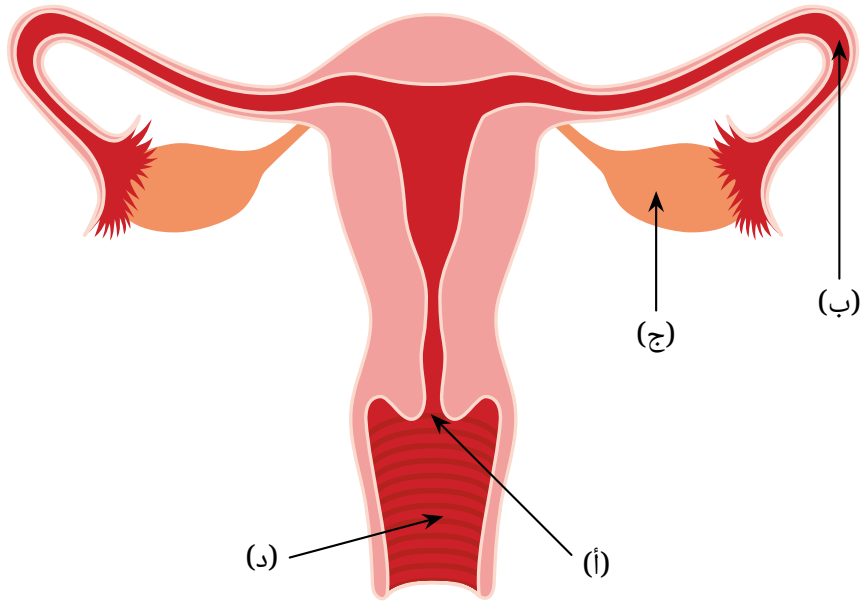
الشكل 3: شكلٌ يوضِّح كيفية عمل الأهداب الموجودة على الخلايا الطلائية المُهدَّبة التي تبطِّن قناتَيْ فالوب لتوجيه البويضة من المبيض نحو الرَّحِم.

مصطلح رئيسي: قناتا فالوب (قناتا البويضات)

تربط قناتا فالوب كلَّ مبيض برَحِم الأنثى. بعد التبويض، تنتقل البويضة في قناة فالوب نحو الرَّحِم. إذا خَصَّب الحيوان المنوي البويضة، فسيَحدُث ذلك على الأرجح في قناة فالوب.

مثال ١: تحديد التراكيب التي تحتوي على الخلايا المُهدَّبة

يوضِّح الشكل الآتي المنظر الأمامي للجهاز التناسلي الأنثوي.



في أيِّ جزء يَكثُر وجود الخلايا الطلائية المُهدَّبة؟

الحل

تؤدِّي الخلايا الطلائية المُهدَّبة، دَوْرًا مُهِمًّا في تحريك المواد عبر المسارت والقنوات في جسم الإنسان. على سبيل المثال، ثمَّة خلايا طلائية مُهدَّبة في الجهاز التناسلي الأنثوي، مسئولة عن توجيه البويضة من المبيض في قناة فالوب نحو الرَّحِم.

تَنطلِق البويضة من المبيض، وهو ما يُشير إليه الرمز (ج) في الشكل، من خلال عملية تُسمَّى التبويض. بعد ذلك، تتحرَّك البويضة نحو الرَّحِم؛ حيث ينغرس الجنين إذا خَصَّب الحيوان المنوي البويضة. إذن الجنين مرحلة أوَّلية من نمو الإنسان تَعقُب انقسام هذه البويضة المخصَّبة. ومعظم هذه الحركة تُحدِثها الخلايا المُهدَّبة الموجودة في قناتَيْ فالوب. إذا خَصَّب الحيوان المنوي البويضة، فسيَحدُث ذلك على الأرجح في إحدى قناتَيْ فالوب.

يُمثِّل الرمز (أ) في الشكل عنق الرَّحِم، وهو نسيج يُوجَد عند قاعدة الرَّحِم. ويمثِّل الرمز (د) المهبل، الذي يستقبل عادة الحيوانات المنوية بداخله خلال الاتصال الجنسي لكي تُخصِّب البويضة. وقناة فالوب يُشير إليها الرمز (ب).

إذن الجزء الذي يَكثُر فيه وجود الخلايا الطلائية المُهدَّبة بالجهاز التناسلي الأنثوي هو الجزء (ب)؛ أيْ قناة فالوب.

يُعَدُّ الرَّحِم عضوًا مجوَّفًا في منطقة الحوض عند المرأة. للرَّحِم جدار عضلي غني بالأوعية الدموية وعضلات ملساء تَسمَح له بالانقباض.

الدَّوْر الرئيسي للرَّحِم هو توفير مكان لانغراس الجنين. عندما يُخصِّب الحيوان المنوي البويضة، تتكوَّن في البداية خلية تُسمَّى زيجوتًا. وبعد أن ينقسم هذا الزيجوت، يُسمَّى جنينًا. لا يوفِّر الرَّحِم مكانًا لانغراس هذا الجنين فحسب، لكنه يمثِّل أيضًا موطنًا ليتطوَّر فيه الجنين الذي ينمو خلال فترة الحمل التي تبلغ 9 شهور. ثمَّة أربطة داخل الجهاز التناسلي الأنثوي تؤدِّي دَوْرًا في تدعيم الرَّحِم والإبقاء عليه في مكانه خلال فترة الحمل.

عند قاعدة الرَّحِم، يُوجَد نسيج يُسمَّى عُنق الرَّحِم. هذا العنق يَصِل الرَّحِم بالتجويف المهبلي.

مصطلح رئيسي: الرَّحِم

الرَّحِم عضوٌ مجوَّف في منطقة الحوض عند المرأة وهو يُمثِّل موقعًا لنمو الجنين وتطوُّره.

المهبل قناةٌ يحتوي جدارها على عضلات ملساء يَصِل طوله إلى حوالي 7 cm، ويختلف هذا من امرأة لأخرى. يمتدُّ المهبل من عُنق الرَّحِم إلى الأعضاء التناسلية الخارجية، وهو التركيب الذي يكون عادة مسئولًا عن استقبال الحيوانات المنوية من قضيب الرجل أثناء الاتِّصال الجنسي.

والمهبل مُبطَّن بغشاء مخاطي، لكي يُحافِظ على ترطيبه بشكلٍ أساسي من خلال السائل المرطِّب الذي تُفرِزه غُدَد عُنق الرَّحِم والغُدَد الموجودة في الجزء الخلفي من الفتحة المهبلية، التي تُفرِز سوائل لترطيب المهبل. كما يتمدَّد المهبل أثناء المخاض، وهو ما يُطلَق عليه عادة عملية الولادة أو الوضْع. وللمهبل أوجُه تكيُّف أخرى مُفيدة، مثل أن الرقم الهيدروجيني الحمضي له يتراوح عادة ما بين 3.8 و4.5، وبيئته الداخلية تضم بكتيريا «نافعة»، لكي تَحميه من الكائنات الحية الدقيقة الخَطِرة.

مصطلح رئيسي: المهبل

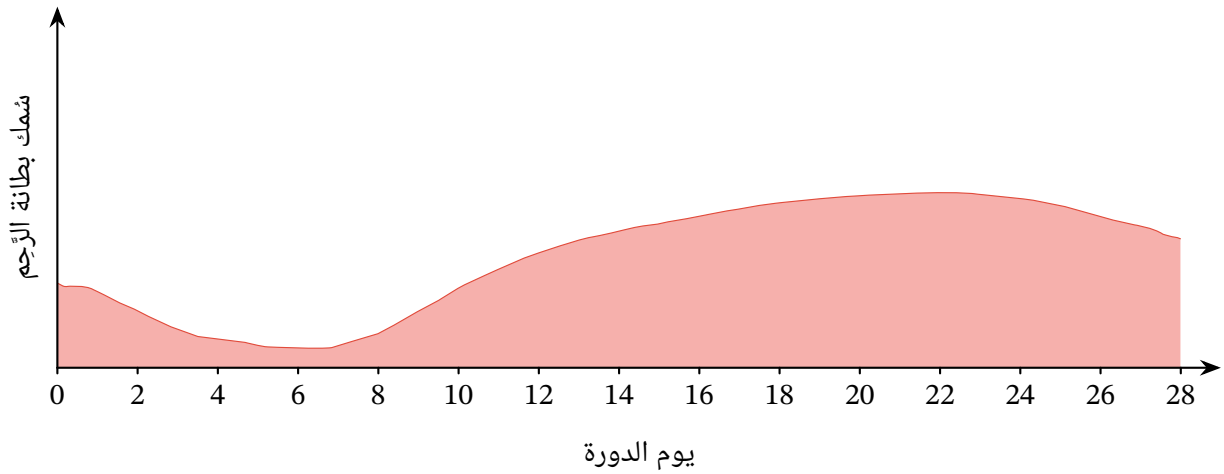
المهبل قناةٌ عضلية في الجهاز التناسلي الأنثوي تمتدُّ من الأعضاء التناسلية الخارجية إلى عُنق الرَّحِم.

بمجرد دخول الحيوانات المنوية إلى المهبل، ستحاول معظم الحيوانات المنوية التوجُّه إلى داخل الرَّحِم عبر عنق الرَّحِم. ومن ثَمَّ، يُمكن للحيوانات المنوية الوصول إلى إحدى قناتَيْ فالوب في محاولة لإخصاب البويضة.

دعونا نلقِ نظرةً بمزيد من التفصيل كيف يُمكن أن تتغيَّر بعض هذه التركيبات في الجهاز التناسلي عند الأنثى على مدار حياتها وبشكلٍ شهري.

عندما يبدأ سن البلوغ، يبدأ جسم المرأة بالاستعداد لإمكانية التكاثر من خلال تغيُّرات جسدية وعاطفية وعقلية. ويتحكَّم في التغيُّرات التي تَحدُث خلال سن البلوغ هرمونات، مثل الإستروجين والبروجسترون، تُفرَز بشكل أساسي من المبيضين.

أحد هذه التغيُّرات التي تتعرَّض لها المرأة عادة عند بدء سن البلوغ هو بداية دَوْرة الطمث. تَصِف دَوْرة الطمث التغيُّرات الشهرية المنتظِمة تقريبًا في إفراز الهرمونات التي تسبِّب حدوث التغيُّرات في الجهاز التناسلي الأنثوي. أحد التغيُّرات التي تَحدُث خلال دَوْرة الطمث هي سُمك بطانة الرَّحِم، وهو ما قد تُلاحِظه موضَّحًا في الشكل 4 الموضَّح الآتي.



الشكل 4: شكلٌ يوضِّح كيف يتغيَّر سُمك بطانة الرَّحِم (الغشاء المبطِّن للرَّحِم) خلال دَوْرة الطمث النمطية ومدَّتها 28 يومًا.

تبدأ دَوْرة الطمث بالحيض، الذي يُعرَف أحيانًا بفترة الحيض. التي نلاحِظ استمرارها من يوم 0 إلى 6 تقريبًا في الشكل 4. وتكون بطانة الرَّحِم، التي تُعرَف أحيانًا بالغشاء المبطِّن للرَّحِم، غنية بالإمداد الدموي. أثناء فترة حيض الأنثى، تَخرُج بطانة الرَّحِم من المهبل مصحوبة بدم، ويبدأ ذلك أحيانًا بانقباضات مؤلِمة في العضلات الملساء الموجودة في جدار الرَّحِم. على الرغم من أن هذا التمثيل البياني يوضِّح أن مدَّة ذلك حوالي 6 أيام، فإن مدَّة فترة الحيض تتفاوت. يُمكن أن تتغيَّر دَوْرة الطمث، وتتفاوت بين النساء، لكن الدَّوْرة الكاملة تستمرُّ عادة حوالي 28 يومًا من بداية فترة الحيض إلى بداية الدورة التالية.

تعريف: الطمث

الطمث عمليةٌ تَحدُث في معظم الإناث تقريبًا مرَّة كلَّ شهر بداية من سن البلوغ حتى سن انقطاع الطمث، ما عدا أثناء فترة الحمل. خلال فترة الطمث، تتهدَّم بطانة الرَّحِم، ويَخرُج الدم ومواد أخرى من المهبل.

بعد فترة الطمث، يبدأ تكوين بطانة الرَّحِم مجدَّدًا، كما تلاحِظ من يوم 8 إلى 18 تقريبًا في الشكل 4. تتحكَّم أيضًا في هذه العملية الهرمونات الجنسية التي تُطلَق بشكل أساسي من المبيضين. عندما يكتمل تكوين بطانة الرَّحِم، تكون جاهزة لاستقبال البويضة المُخصَّبة في عملية تُسمَّى الانغراس. تظلُّ بطانة الرَّحِم سميكة حتى 28 يومًا تقريبًا قبل تكرار دَوْرة الطمث مرَّة أخرى.

لكي يُخصِّب الحيوان المنوي البويضة، يجب أن تُطلَق البويضة أولًا من المبيض في عملية تُسمَّى التبويض. وتتحكَّم في هذه العملية أيضًا الهرمونات الجنسية، وتَحدُث شهريًّا تقريبًا عندما تكون بطانة الرَّحِم سميكة. تُطلَق عادةً بويضةٌ واحدةٌ فقط في كلِّ دَوْرة طمث، ويتبادل المبيضان إطلاقها كلَّ شهر. إذا انغرست البويضة المخصَّبة في جدار الرَّحِم، فبعد مرور 9 شهور تقريبًا، تؤدِّي العضلات الملساء الموجودة في الرَّحِم دَوْرًا آخَر في الانقباضات التي تدفع الطفل خارج الرَّحِم في عملية الولادة.

تعريف: التبويض

التبويض جزءٌ من دَوْرة الطمث، ويَحدُث عندما تُطلَق البويضة من أحد مبيضي المرأة.

تستمرُّ دَوْرة الطمث، كلَّ شهر تقريبًا، حتى حدوث الحمل أو الوصول إلى سن انقطاع الطمث. بعد حدوث الحمل، تبدأ عادة دَوْرة طمث جديدة مرَّة أخرى، لكن عند الوصول إلى سن انقطاع الطمث يتوقَّف ذلك تمامًا. هذا يعني أن المرأة لم يَعُد بإمكانها الحيض أو التبويض. يتوقَّف التبويض عندما يصبح مبيضاها غير نَشِطين بسبب انخفاض في الإفرازات الهرمونية. يَتمتَّع معظم النساء بالخصوبة، والقُدْرة على الإنجاب بين البلوغ وسن انقطاع الطمث، وهو ما يَحدُث عند الاقتراب من منتصف العُمر الذي يبلغ 51 سنة.

تعريف: سن انقطاع الطمث

سن انقطاع الطمث فترةٌ في حياة المرأة يتوقَّف عندها الطمث.

هيَّا نلقِ نظرةً على كيفية نمو البويضات وإطلاقها من المبيض.

يتكوَّن المبيض الأنثوي من العديد من الأكياس الصغيرة المملوءة بالسوائل تُسمَّى الحويصلات، وتحتوي كلٌّ منها على بويضة غير مكتمِلة النضج. يُطلَق على عملية إنتاج بويضة ناضجة وتطوُّرها تكوين البويضة، وتبدأ حتى قبل ولادة المرأة وهي ما تزال جنينًا!

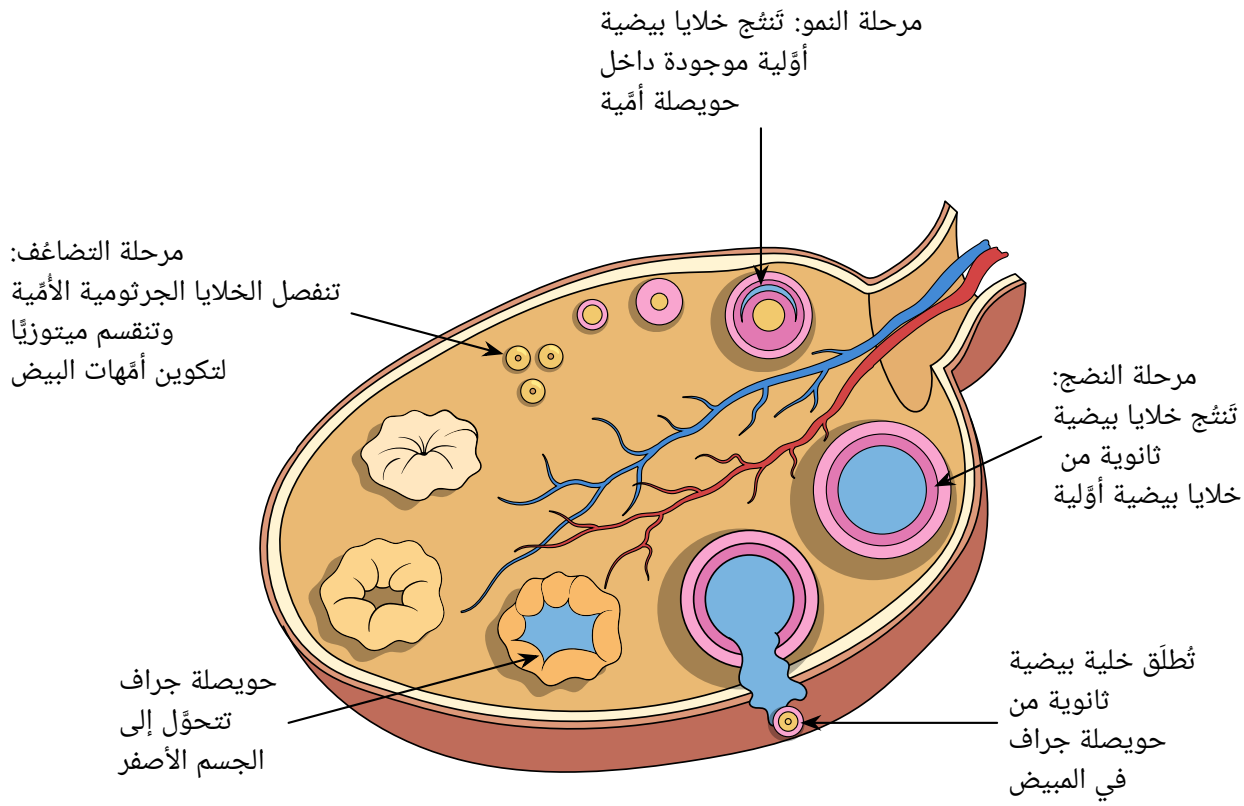
ثمَّة ثلاث مراحل رئيسية لتكوين البويضة: التضاعُف، والنمو، والنضج. يُمكنك الاطِّلاع على الخلايا خلال مراحل النمو المختلفة في الصورة المجهرية لمقطع عرضي في المبيض الموضَّحة فيما يأتي.

الشكل 5

تعريف: تكوين البويضة

تكوين البويضة عمليةٌ تَنتُج خلالها البويضة وتتطوَّر.

يوضِّح الشكل 6 ما يَحدُث في الصورة المجهرية بمزيد من التفصيل.



الشكل 6: شكلٌ يوضِّح مقطعًا عرضيًّا لمبيض يحتوي على خلايا في مراحل مختلفة من التطوُّر خلال تكوين البويضة، والتطوُّرات التي تَحدُث في المبيض بعد إطلاق خلية بيضية ثانوية.

أولًا: دعونا نلقِ نظرةً على مرحلة التضاعُف.

عندما تكون الأنثى جنينًا يتراوح عُمره من 8–20 أسبوعًا، يَنقسم العديد من خلاياه ويتضاعف ميتوزيًّا. يُطلَق على البويضات غير المكتملة النضج في هذه المرحلة البويضات الأوَّلية، أو الخلايا الجرثومية الأمِّية. الخلايا الجرثومية الأمِّية خلايا ثنائية الصيغة الصبغية تُنتِج الخلايا التناسلية عند كلٍّ من الذكور والإناث. في الذكور تتحوَّل الخلايا الجرثومية الأمِّية إلى حيوانات منوية في الخصيتين، وفي الإناث تتحوَّل الخلايا الجرثومية الأمِّية إلى خلايا بيضية في المبيضين. وبما أن الخلايا الجرثومية الأمِّية خلايا ثنائية الصيغة الصبغية، فهي تحتوي على مجموعة كاملة من الكروموسومات عددها 46 كروموسومًا.

عملية تضاعُف الخلايا هي المرحلة الأولى من تكوين البويضة، وتُنتِج خلايا ثنائية الصيغة الصبغية تُسمَّى أمَّهات البيض (ومفردها: خلية أم البيض)، كما ترى في الشكل 6. تستمرُّ هذه العملية حتى بضعة أسابيع قبل الولادة.

مصطلح رئيسي: مرحلة التضاعُف

مرحلة التضاعُف هي المرحلة الأولى من تكوين الجاميتات؛ حيث تتحوَّل خلالها الخلايا الجرثومية (الأمِّية) ($2N$) إلى أمَّهات المني ($2N$) في عملية تكوين الحيوان المنوي، أو إلى أمَّهات البيض ($2N$) خلال عملية تكوين البويضة.

بعد ذلك، دعونا نلقِ نظرةً على مرحلة النمو.

المرحلة الثانية من تكوين البويضة هي مرحلة النمو، التي تَحدُث أيضًا في المبيضين، وما تزال الأنثى جنينًا. يزداد حجم كلِّ خلية من خلايا أمَّهات البيض لتصبح خلية بيضية أوَّليَّة في مرحلة النمو، كما هو موضَّح في الشكل 6. كما تصبح الحويصلة التي تحتوي على الخلية البيضية غنية بالمغذِّيات مثل البروتينات والهرمونات. تبدأ الخلايا البيضية الأوَّليَّة في عملية انقسام ميوزي أوَّل، يتوقَّف عند الطَّوْر التمهيدي في هذه المرحلة المبكِّرة. وبما أن الخلايا البيضية الأوَّليَّة لم تُكمِل بعد الانقسام الميوزي، فهي أيضًا خلايا ثنائية الصيغة الصبغية، كما نرى في الشكل 7. تظلُّ الخلايا البيضية الأوَّليَّة ساكنة في حويصلاتها حتى يبدأ التبويض عند البلوغ.

مصطلح رئيسي: الخلية البيضية الأوَّليَّة

الخلية البيضية الأوَّليَّة خليةٌ ثنائية الصيغة الصبغية تكوَّنت خلال تكوين البويضة من خلال نمو خلية أم البيض.

مصطلح رئيسي: مرحلة النمو

مرحلة النمو هي المرحلة الثانية من تكوين الجاميتات التي تَنقسم خلالها أمَّهات المني أو أمَّهات البيض وتتمايَز إلى خلايا منوية أوَّليَّة وخلايا بيضية أوَّليَّة على الترتيب.

في بعض الأحيان تُصنَّف مراحل تكوين البويضة تبعًا لما كانت تَحدُث به قبل ولادة الجنين، وتُسمَّى أحيانًا تكوين البويضة قبل الولادة، أو تكوين البويضة بعد الولادة.

بالرغم من أن أوَّل مرحلتين من تكوين البويضة يكونان قبل الولادة، فإن المرحلة الأخيرة من تكوين البويضة تكون بعد الولادة، وخلالها تَصِل الخلايا البيضية إلى مرحلة النضج. يَحدُث هذا في الأنثى بمجرد أن تبدأ دَوْرة الطمث، ويَحدُث ذلك بتحفيز من الهرمونات خلال التبويض. مرحلة النضج تمثِّل كيفية تحوُّل الخلايا البيضية الأوَّليَّة إلى خلايا بيضية ثانوية، كما ترى في الشكل 6.

مصطلح رئيسي: مرحلة النضج

مرحلة النضج هي المرحلة الثالثة من تكوين الجاميتات. في عملية تكوين الحيوانات المنوية، يخضع أحد الحيوانات المنوية الأوَّلية إلى انقسام ميوزي أوَّل وثانٍ، لإنتاج خليتين منويتين ثانويتين ثم أربع طلائع منوية. في عملية تكوين البويضة، تخضع الخلايا البيضية الأوَّليَّة لانقسام ميوزي أوَّل لتصبح خلايا بيضية ثانوية، ويتوقَّف الانقسام الميوزي الثاني في الطَّوْر الاستوائي، ولا يكتمل ذلك إلَّا عندما ينجح حيوان منوي في إخصاب البويضة.

ويشتمل الانقسام الميوزي على مرحلتين من الانقسام. تُكمِل الخلايا البيضية الأوَّليَّة المرحلة الأولى من الانقسام الميوزي، انقسامًا ميوزيًّا أوَّل، يَقسم النواة لإنتاج خليتين بنويتين أحاديتي الصيغة الصبغية. تذكَّر أن هذه العملية بدأت خلال مرحلة تكوين البويضة قبل الولادة، لكنها توقَّفت خلال الطَّوْر التمهيدي الأول.

ينتقل نصْف المادة الوراثية للخلية البيضية الأوَّليَّة إلى خلية تُسمَّى الخلية البيضية الثانوية، وينتقل النصْف الآخَر من المادة الوراثية إلى خلية غير وظيفية أصغر بكثير تُسمَّى الجسم القطبي الأول. وبما أنهما يحتويان على نصْف المادة

الوراثية للخلية الجسمية العادية، فإن كلًّا من الخلية البيضية الثانوية والجسم القطبي الأوَّل يكونان أحاديي الصيغة الصبغية. الجسم القطبي خليةٌ أصغر بكثير تحتوي على مقدار ضئيل جدًّا من السيتوبلازم، وأحيانًا يُوصَف بأنه غير وظيفي؛ لأنه لن يتحوَّل إلى بويضة ناضجة.

مصطلح رئيسي: الخلية البيضية الثانوية

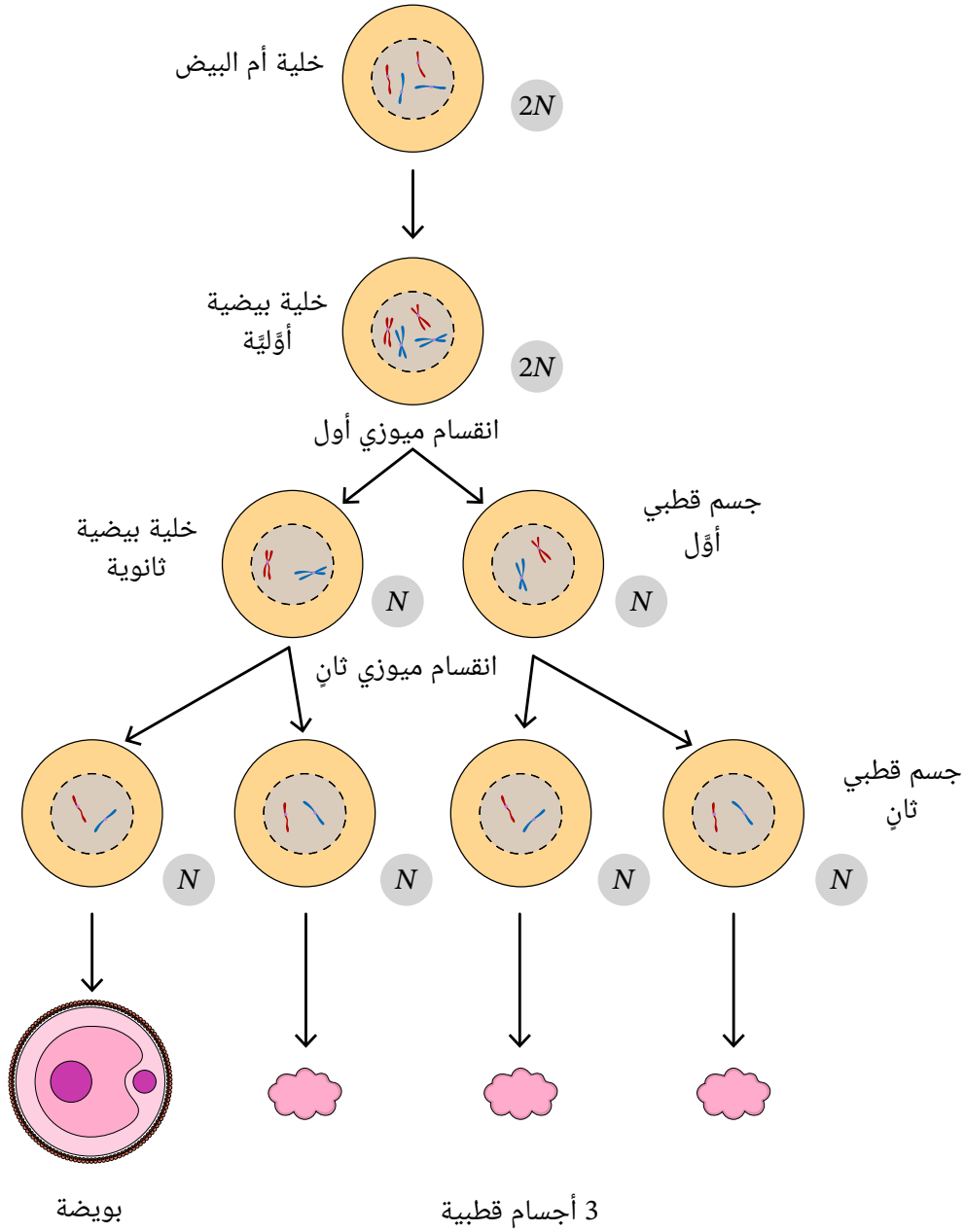
الخلية البيضية الثانوية خليةٌ أحادية الصيغة الصبغية تتكوَّن من خلية بيضية أوَّليَّة تَخضَع لانقسام ميوزي أوَّل في المرحلة النهائية من تكوين البويضة.

مصطلح رئيسي: الجسم القطبي

الجسم القطبي خلية صغيرة غير وظيفية تَنتُج خلال كلِّ مرحلة من الانقسام الميوزي خلال تكوين البويضة، ولا تتحوَّل إلى بويضة ناضجة.

يبدأ الانقسام الميوزي الثاني، وهو المرحلة الثانية من الانقسام الميوزي، بعد اكتمال الانقسام الميوزي الأوَّل، لكنه سيتوقَّف في الطَّوْر الاستوائي قبل انقسام الخلية البيضية الثانوية والجسم القطبي الأول. ولن يكتمل الانقسام الميوزي الثاني لتكوين بويضة ناضجة إلَّا إذا خصَّب حيوان منوي الخلية البيضية الثانوية بنجاح.

يُمكنك أن ترى ملخَّصًا في الشكل 7، يوضِّح تغيُّر عدد الكروموسومات خلال الانقسامين الميتوزي والميوزي في كلِّ مرحلة من مراحل تكوين البويضة، ثم الإخصاب.



الشكل 7: شكلٌ يوضِّح مراحل تكوين البويضة، التي تضمُّ انقسامات ميتوزية وميوزية لتكوين بويضة ناضجة.

لتلخيص عملية تكوين البويضة، كما نرى في الشكل 7، أولًا: تَنقسم خلية أم البيض ($2N$) ميتوزيًّا لتتحوَّل إلى خلية بيضية أوَّليَّة ($2N$). تخضع الخلية البيضية الأوَّليَّة لانقسام ميوزي أول لتكوين خلية بيضية ثانوية (N) والجسم القطبي الأول (N). ثم يخضع كلٌّ من هذه الخلايا الثنائية الصيغة الصبغية إلى انقسام ميوزي ثانٍ، يكتمل فور إخصاب حيوان منوي للخلية البيضية الثانوية بنجاح، لتكوين 3 أجسام قطبية ثانوية وبويضة واحدة ناضجة.

وتُوجَد الخلية البيضية الثانوية داخل حويصلة تُسمَّى حويصلة جراف. عند حدوث التبويض وإنتاج الخلية البيضية الثانوية، تنفجر حويصلة جراف، كما ترى في المرحلة 4 من الشكل 6، وتُطلَق الخلية البيضية الثانوية داخل قناة فالوب.

بمجرد خروج الخلية البيضية الثانوية من المبيض، تتحوَّل حويصلة جراف إلى تركيب يُسمَّى الجسم الأصفر، وهو الموضَّح في المرحلة 5 من الشكل 6. إذا خُصِّبت الخلية البيضية الثانوية، فسيقوم الجسم الأصفر بإطلاق الهرمونات التي تتحكَّم في مراحل الحمل المبكِّرة. إذا لم تُخصَّب الخلية البيضية الثانوية، يبدأ الجسم الأصفر في الضمور وهو ما يتسبَّب في تقليل إفراز الهرمونات وتحفيز بدء الطمث.

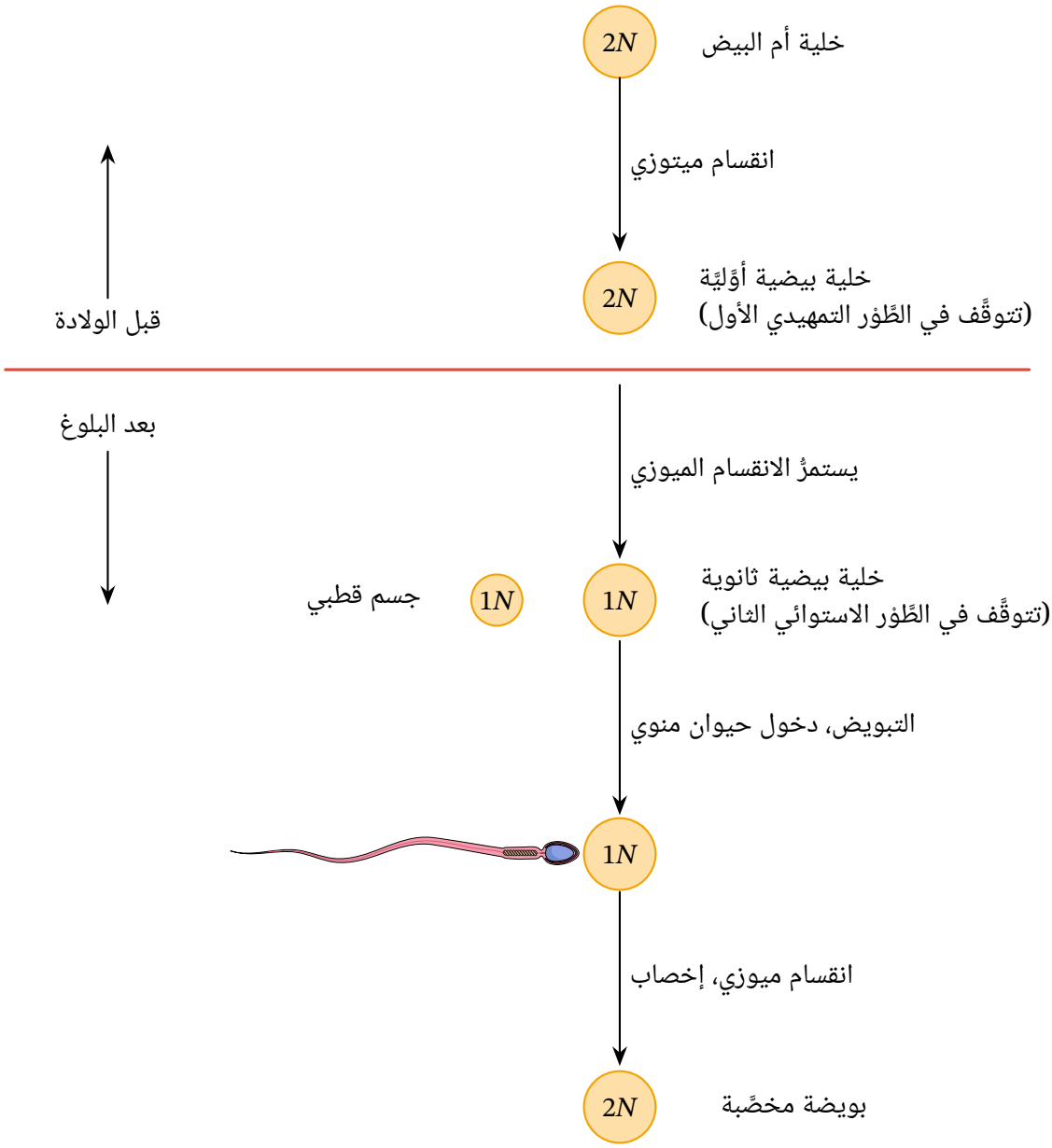
مصطلح رئيسي: حويصلة جراف

حويصلة جراف تركيبٌ مملوءٌ بسائل في المبيض، تنمو داخله بويضة غير مكتملة النضج قبل التبويض.

مصطلح رئيسي: الجسم الأصفر

الجسم الأصفر تركيبٌ مُفرِز للهرمونات، ينمو في أحد المبيضين بعد تحرُّر البويضة في عملية التبويض، لكنه يتحلَّل بعد بضعة أيام ما لم يبدأ الحمل.

تلخِّص الصورة الموضَّحة في الشكل 8 العمليات الأساسية التي تَحدُث لتحويل خلية أم البيض إلى بويضة مخصَّبة.



الشكل 8: شكلٌ يوضِّح العمليات التي يجب أن تمرَّ بها خلية أم البيض الثنائية الصيغة الصبغية لتتحوَّل إلى بويضة مخصَّبة.

مثال ٢: التعرُّف على التركيب الذي يتكوَّن في المبيض بعد حدوث التبويض

ما التركيب الذي يتكوَّن في المبيض كلَّ شهر بعد حدوث التبويض؟

الحل

التبويض عمليةٌ تُطلَق خلالها بويضة، من مبيض الأنثى.

تُوجَد البويضة غير مكتملة النضج في المبيض داخل تركيب يُسمَّى حويصلة جراف. وعندما تحفِّز الهرمونات التبويض، عادةً ما تنفجر بويضة غير مكتملة النضج من حويصلة جراف وتَخرُج من المبيض لتنتقل عبر قناة فالوب؛ حيث يُحتمَل أن يخصِّبها حيوان منوي عند حدوث الإخصاب، تصبح الآن البويضة غير المكتملة النضج بويضةً مخصَّبةً ناضجةً يُمكن أن تكون زيجوتًا وربما جنينًا.

بعد خروج البويضة، تتحوَّل حويصلة جراف إلى الجسم الأصفر. في حالة حدوث الإخصاب، فإن الجسم الأصفر يُساعِد في إنتاج الهرمونات التي تؤثِّر على المرحلة المبكِّرة من الحمل. إذا لم يَحدُث الإخصاب، يصبح الجسم الأصفر غير نَشِط ويَضمُر. وهذا يقلِّل من إفراز الهرمونات، ويُحفِّز حدوث الطمث.

إذن التركيب الذي يتكوَّن في المبيض كلَّ شهر بعد حدوث التبويض هو الجسم الأصفر.

مثال ٣: التعرُّف على الخلايا الموجودة في المبيض عند الولادة

ما المرحلة التي تَصِل إليها الخلايا في مبيض طفلة سليمة حديثة الولادة؟

أ. الخلايا البيضية الثانوية

ب. الأجسام القطبية

ج. الخلايا الجرثومية الأمِّية

د. الخلايا البيضية الأوَّليَّة

هـ. أمَّهات البيض

الحل

يُطلَق على عملية إنتاج بويضة ناضجة وتطوُّرها تكوين البويضة، التي تبدأ حتى قبل أن تُولَد المرأة وهي ما تزال جنينًا! ثمَّة ثلاث مراحل رئيسية لتكوين البويضة: التضاعُف، والنمو، والنضج.

في مرحلة التضاعُف، تتحوَّل الخلايا الجرثومية الأوَّلية، التي تُسمَّى أحيانًا الخلايا الجرثومية الأمِّية، إلى العديد من أمَّهات البيض في عملية تُسمَّى الانقسام الميتوزي. في مرحلة النمو، تنمو أمَّهات البيض هذه إلى خلايا بيضية أوَّليَّة. تَحدُث كلتا العمليتين بينما تزال الأنثى في مرحلة التطوُّر الجنيني.

عندما تُولَد الأنثى وبعد مرور عدَّة سنوات تبدأ في البلوغ خلال فترة المراهقة، ويبدأ حدوث التبويض مرَّة واحدة كلَّ شهر تقريبًا. وعند هذه المرحلة، تَحدُث مرحلة النضج، وتتحوَّل الخلية البيضية الأوَّليَّة إلى خلية بيضية ثانوية كبيرة وجسم قطبي صغير. يُمكن أن تتحرَّر هذه الخلية البيضية الثانوية من المبيض من خلال التبويض كلَّ شهر، ويُمكن أن يخصِّبها حيوان منوي.

الإجابة ليست الخلايا البيضية الثانوية ولا الأجسام القطبية؛ لأنها لا تَنتُج حتى سن البلوغ عندما يبدأ التبويض عندها يُمكن أن تَحدُث مرحلة النضج.

الخلايا الجرثومية الأمِّية هي أولى الخلايا التي تُوجَد في المبيض، وخلال التطوُّر الجنيني لمبيض الأنثى، ستتحوَّل هذه الخلايا الجرثومية الأمِّية إلى أمَّهات البيض، وفي النهاية إلى خلايا بيضية أوَّليَّة. وبما أن كلًّا من مرحلة التضاعُف التي تُنتِج أمَّهات البيض ومرحلة النمو التي تُنتِج الخلايا البيضية الأوَّليَّة تَحدُث في الأنثى قبل ولادتها، فإن الشكل النهائي للخلايا التي تُوجَد في مبيضَيْها عندما تكون طفلة حديثة الولادة هي الخلايا البيضية الأوَّليَّة.

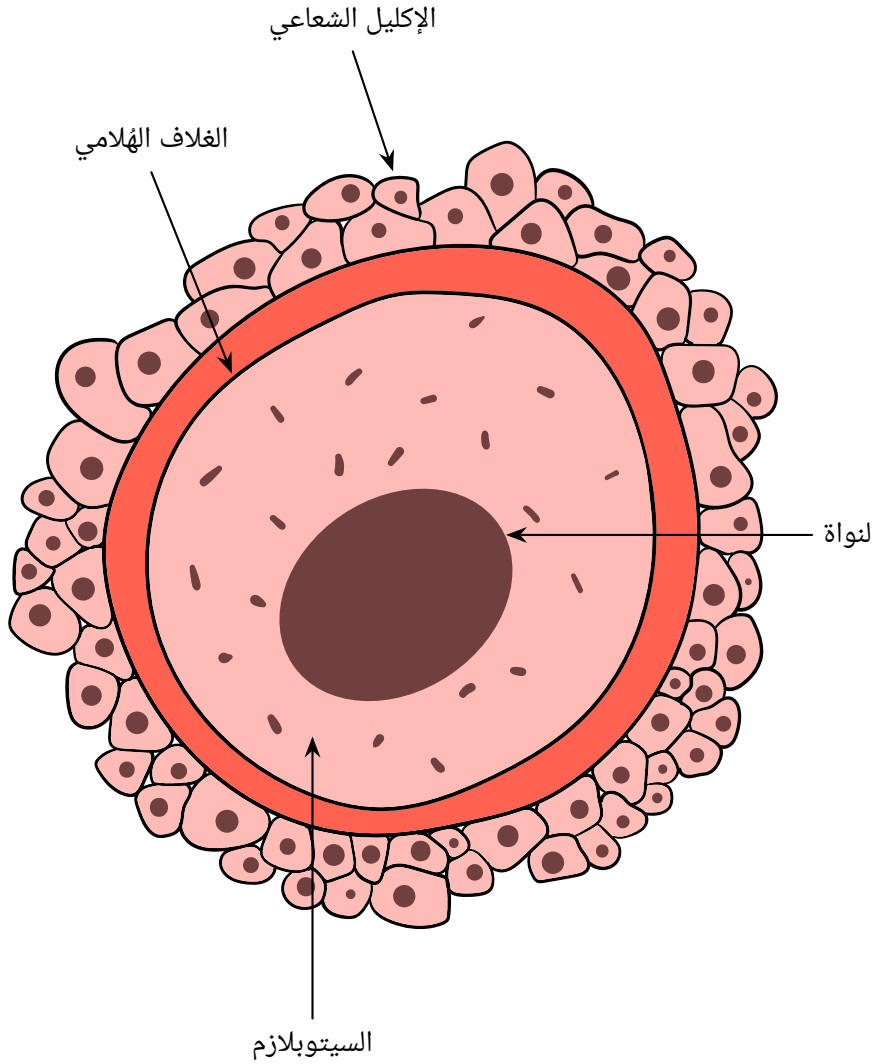
إذن الخلايا التي يُمكن أن تُوجَد في مبيض الطفلة السليمة منذ ولادتها هي الخلايا البيضية الأوَّليَّة.

كما ذكرنا، لن يكتمل الانقسام الميوزي الثاني إلَّا إذا خصَّب حيوان منوي البويضة. وعندما يَحدُث ذلك، ستَنقسم الخلية البيضية الثانوية مرَّة ثانية، وتكوِّن بويضة وجسمًا قطبيًّا ثانيًا. كما يَنقسم أيضًا الجسم القطبي الأول مرَّة ثانية، كما تلاحِظ في الشكل 7، ويُنتِج جسمين قطبيين ثانويين آخَرين. إذن النواتج النهائية للانقسام الميوزي هي ثلاثة أجسام قطبية تتحلَّل عادة، وبويضة واحدة ناضجة يخصِّبها حيوان منوي. في بعض الأحيان، تَبقَى الأجسام القطبية وتؤدِّي دَوْرًا في تطوُّرات دورة الحياة المستقبلية للكائن الحي.

لكنْ كيف يُحفِّز الحيوان المنوي اكتمال الانقسام الميوزي الثاني؟

تحتوي حويصلة جراف التي تُحيط بالخلية البيضية الثانوية على العديد من الخلايا الحويصلية الصغيرة حين تكون في المبيض. عندما تتحرَّر من المبيض عند حدوث التبويض، يظلُّ بعضٌ من الخلايا الحويصلية مرتبطًا بالخلية البيضية الثانوية، مكوِّنًا تركيبًا طبقيًّا يُعرَف بالإكليل الشعاعي الذي يُحيط بالبويضة.

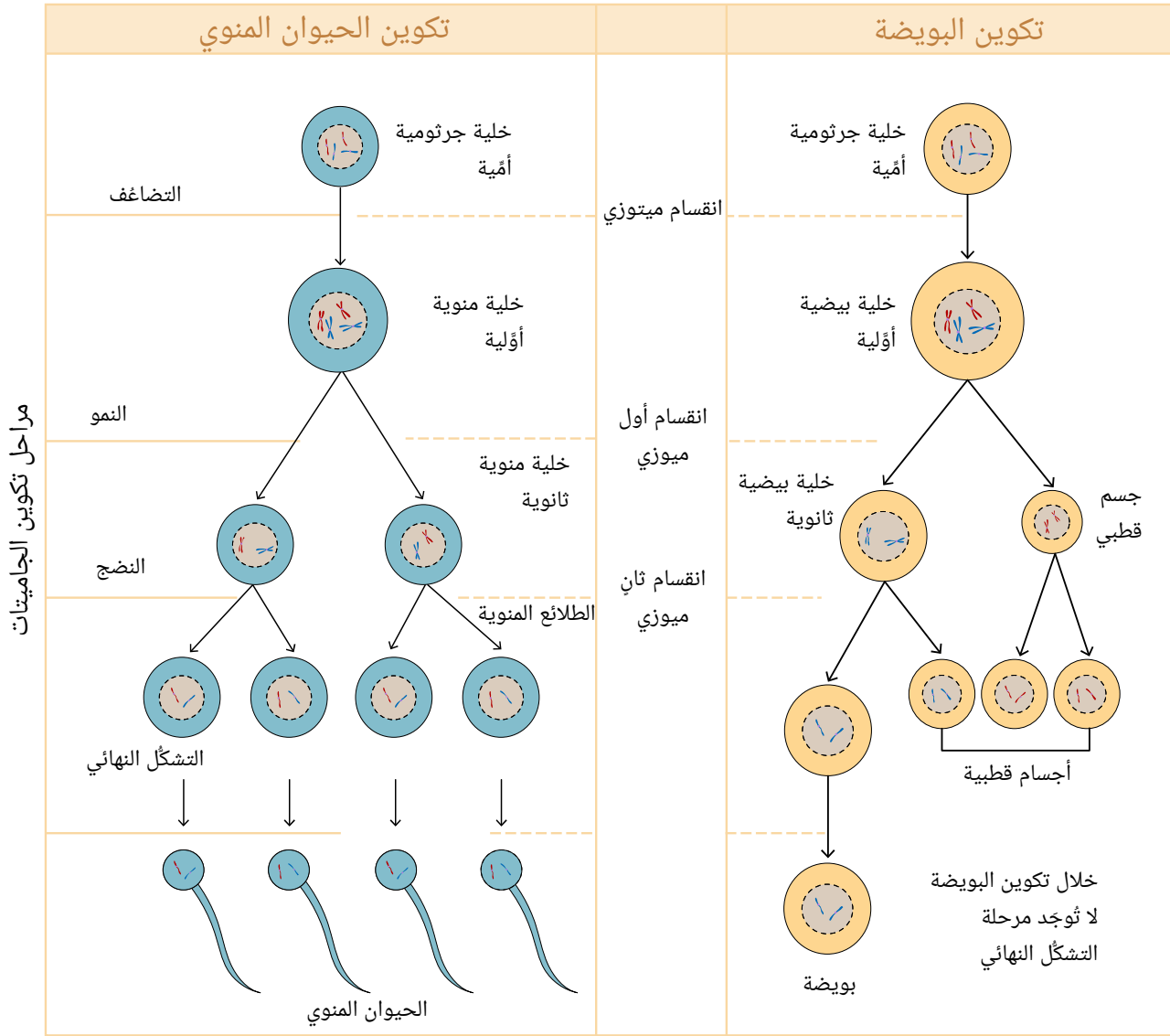
يتكوَّن الإكليل الشعاعي من عدَّة طبقات خلوية سميكة. يُعتقَد أن الخلية البيضية تُفرِز حشوة جليكوبروتين داخل خلوية خارج الغشاء الخلوي للخلية البيضية تحتوي على كربوهيدرات، وبروتينات، ومادة تُسمَّى حمض الهيالويورنيك. يُمكنك أن ترى طبقة الحشوة هذه في الشكل 9، التي يُشار إليها عادة باعتبارها الغلاف الهُلامي، أو بشكلٍ أكثر دقَّة المنطقة الشفَّافة في الثدييات مثل البشر. يجب أن يَخترِق الحيوان المنوي هذه الطبقة الهلامية الشكل لكي يَحدُث الإخصاب.



الشكل 9: شكلٌ يوضِّح تركيب خلية بيضية ثانوية تتضمَّن غلافًا هُلاميًّا (المنطقة الشفَّافة) تُفرِزه خلايا الحويصلات في الإكليل الشعاعي.

عندما يخترق الحيوان المنوي، الإكليل الشعاعي للخلية البيضية الثانوية، فإنه يُفرِز إنزيمات من جزء في رأس الحيوان المنوي يُسمَّى الجسيم القِمِّي. تُساعِد هذه الأنزيمات في اختراق الطبقات الخارجية للبويضة. على الرغم من أن العديد من إنزيمات الحيوانات المنوية يَعمَل على إذابة الطبقات الخارجية للبويضة، فإن حيوانًا منويًّا واحدًا فقط يُمكنه الدخول إلى سيتوبلازم الخلية البيضية الثانوية. يُنشِّط ذلك اكتمال الانقسام الميوزي الثاني في الخلية البيضية الثانوية، مكوِّنًا بويضةً ناضجةً، ويُمكن أن تندمج البويضة والحيوان المنوي معًا أثناء الإخصاب.

وثمَّة عملية تُشبه تكوين البويضة تَحدُث في الجهاز التناسلي الذكري، لتكوين الحيوانات المنوية. هذه العملية تُسمَّى تكوين الحيوانات المنوية. يوضِّح الشكل 10 هاتين العمليتين جنبًا إلى جنب، وبذلك يُمكننا إلْقاء نظرة على الاختلافات بين العمليتين.



الشكل 10: شكلٌ يوضِّح عمليتَيْ تكوين الحيوان المنوي (إنتاج الحيوانات المنوية)، وتكوين البويضة (إنتاج البويضات). كلتَا العمليتين تتضمَّن مراحل التضاعُف والنمو والنضج.

في عمليتَيْ تكوين الحيوان المنوي وتكوين البويضة، تكون المراحل الأوّلية للتضاعُف هي نفسها من خلال الانقسام الميتوزي والنمو. عند هذه المرحلة، تختلف العمليتان. خلال مرحلة النضج في تكوين البويضة، تَنتُج خلايا بيضية ثانوية كبيرة وجسم قطبي صغير في الانقسام الميوزي الأول. ويَنقسم الجسم القطبي الصغير في النهاية إلى جسمين ثم يتحلَّل عادةً كلٌّ منهما. لكن خلال مرحلة النضج في تكوين الحيوان المنوي، تَنتُج خليتان منويتان من خلية منوية أوّليّة واحدة في الانقسام الميوزي الأول.

يتطلَّب تكوين البويضة حدوث التبويض وبعد ذلك الإخصاب من خلال حيوان منوي لتكتمل عملية الانقسام الميوزي الثاني، التي تُنتِج بويضةً كبيرةً وجسمًا قطبيًّا آخَر يتحلَّل عادةً في النهاية. يكتمل تكوين الحيوان المنوي بشكلٍ مستقلٍّ عن عملية الإخصاب، ويَحدُث الانقسام الميوزي الثاني في خليتين منويتين ثانويتين، وهو ما يكوِّن أربعة حيوانات منوية أحادية الصيغة الصبغية. كما يتضمَّن تكوين الحيوان المنوي مرحلة أخيرة؛ حيث تتحوَّل الطلائع المنوية إلى حيوانات منوية أحادية الصيغة الصبغية قادِرة على إخصاب البويضة.

إذن بينما يُنتِج تكوين البويضة في النهاية بويضةً كبيرةً من خلية جرثومية أمِّية، يُنتِج تكوين الحيوان المنوي في النهاية أربع حيوانات منوية أصغر بكثير من خلية جرثومية أمِّية.

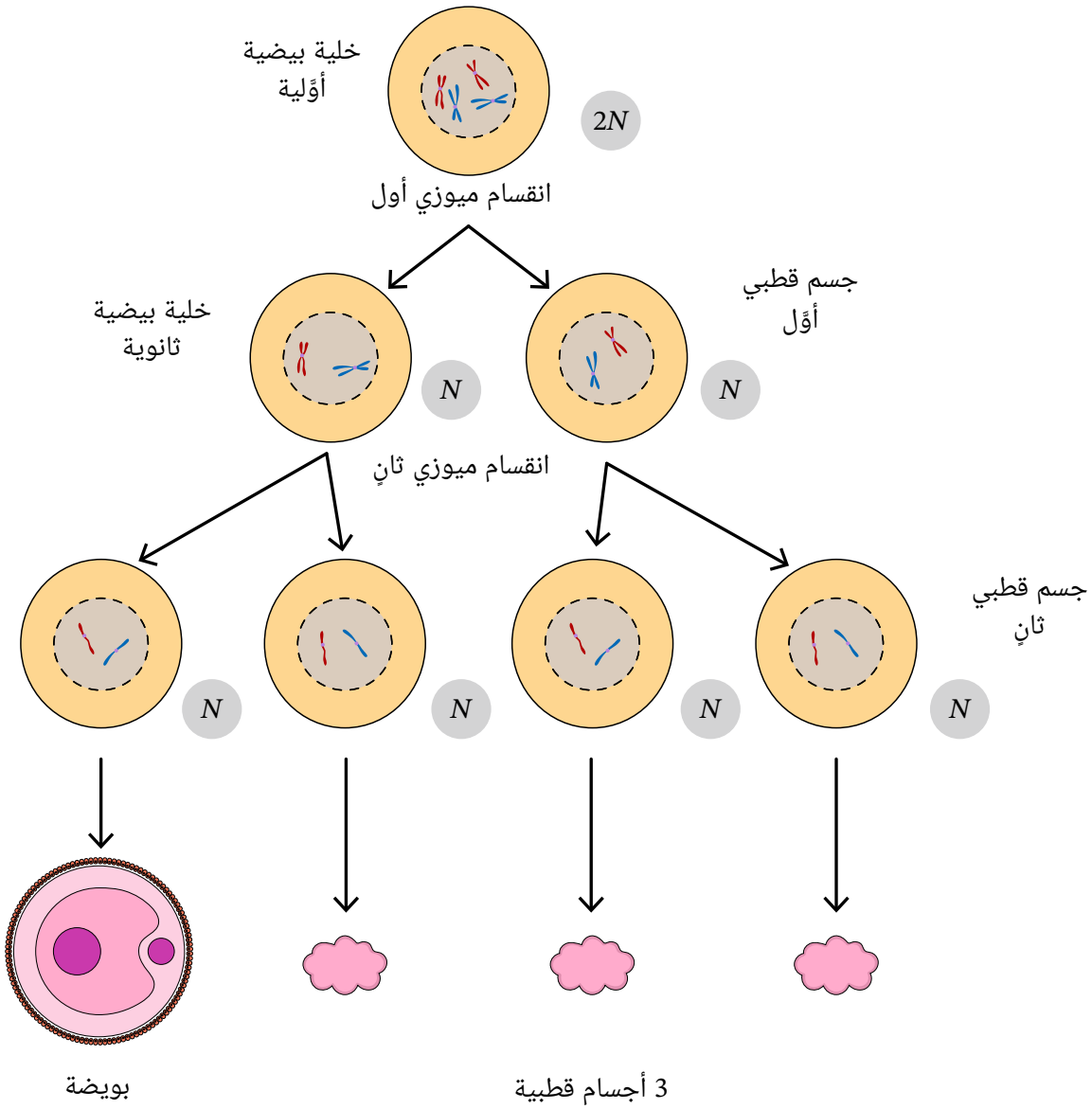
مثال ٤: تحديد عدد البويضات التي يُمكن إنتاجها من كلِّ خلية تبدأ في الانقسام الميوزي

ما عدد البويضات التي تَنتُج من كلِّ خلية تبدأ في الانقسام الميوزي؟

الحل

الانقسام الميوزي عمليةٌ تتكوَّن فيها الجاميتات أو الخلايا الجنسية. وبما أن الانقسام الميوزي يتضمَّن انقسامين، فسيؤدِّي ذلك إلى إنتاج خلايا أحادية الصيغة الصبغية تحتوي على نصْف المادة الوراثية للخلية الجسمية العادية، ونمثِّلها بالرمز «N». وخلايا ثنائية الصيغة الصبغية تحتوي على المادة الوراثية الكاملة للخلية الجسمية العادية، ونمثِّلها بالرمز «$2N$».

يَحدُث الانقسام الميوزي عند الاقتراب من نهاية عملية تكوين البويضات، التي تَنتُج خلالها البويضة. يُمكنك أن ترى مراحل حدوث هذه العملية التي تتضمَّن الانقسام الميوزي في الشكل الموضَّح الآتي.



يُستأنَف الانقسام الميوزي الأول في الأنثى عندما تبدأ التبويض. يُحوِّل الانقسام الميوزي الأوَّل الخلية البيضية الأوَّليَّة إلى خلية بيضية ثانوية وخلية أصغر بكثير تُسمَّى الجسم القطبي الأول. وسيبدأ الانقسام الميوزي الثاني، لكنَّه لن يكتمل إلَّا عندما يخصِّب الحيوان المنوي البويضة. تنقسم الخلية البيضية الثانوية خلال الانقسام الميوزي الثاني، ليُنتِج بويضةً كبيرةً أحادية الصيغة الصبغية وجسمًا قطبيًّا آخَر صغيرًا. كما يَنقسم الجسم القطبي الأوَّل خلال الانقسام الميوزي الثاني؛ ومن ثَمَّ يُنتِج الانقسام الميوزي الثاني في المجمل بويضةً كبيرةً وثلاثة أجسام قطبية صغيرة. وتتحلَّل عادةً الأجسام القطبية في النهاية.

إذن عدد البويضات التي تَنتُج من كلِّ خلية تبدأ في الانقسام الميوزي هو بويضةٌ واحدةٌ.

دعونا نلخِّص بعض النقاط الرئيسية التي تناوَلناها في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- التراكيب الأساسية في الجهاز التناسلي الأنثوي هي المبيضان، وقناتا فالوب، والرَّحِم، وعنق الرَّحِم، والمهبل.
- يُطلِق المبيضان الهرمونات والبويضات خلال عملية التبويض.
- تَنتقل البويضات إلى قناة فالوب، وتُساعِدها الخلايا الطلائية المُهدَّبة الموجودة في بطانتها، نحو الرَّحِم حيث يُمكن أن تتحوَّل بويضة يخصِّبها حيوان منوي لتصبح جنينًا.
- تكوين البويضة عمليةٌ تتحوَّل خلالها الخلية الجرثومية الأمِّية إلى بويضة واحدة ناضجة وثلاثة أجسام قطبية صغيرة تتحلَّل عادة.
- تتضمَّن المراحل الثلاث لتكوين البويضة انقسامات ميتوزية وميوزية. وهي مراحل التضاعُف، والنمو، والنضج، التي يُمكن تصنيفها إلى ما قبل الولادة وما بعدها.
- بعد مرحلة النضج، يكتمل الانقسام الميوزي الثاني عندما يخصِّب الحيوان المنوي البويضة.