جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

كلية طبّ الأسنان

مقرر علم الخلية والمناعة

المحاضرة السابعة

التنامي الجنيني عند الحيوانات

Embryo Development in Animals

د. علي منصور

I- مراحل التنامي الجنيني عند الحيوانات

يتضمن التنامي الجنيني عند الحيوانات أربعة مراحل رئيسية هي:

1- الإخصاب والحمل Fertilization and Pregnancy

2- التقسم ومرحلة الأصيلة Cleavage and Blastula Stage

3- تشكل المعيدة Gastrulation

4- توليد الأعضاء Organogenesis

وسنتحدث عن كل مرحلة من هذه المراحل بشيء التفصيل.

1- الإخصاب والحمل Fertilization and Pregnancy

عندما تتحرر البيضة من مبيض الأنثى يتم دفعها إلى القناة الناقلة للبيوض وتتحرك باتجاه الرحم. فإذا كانت النطاف موجودة (شكل 1)، فهي تتجمع حول البيضة أثناء هبوطها في القناة، ولكن تخترق نطفة واحدة فقط الطبقة الخارجية للبيضة وتقوم بإخصابها وتسبب إكمال الانقسام المنصف في البيضة. تسهم النطاف الأخرى بالأنزيمات التي تهضم في طريقها حاجز البروتين والمخاط الذي يفصل بين البيضة والنطفة التي نجحت في الوصول إليها أولاً. يتضمن منع حدوث اندماج نطاف أخرى مع البيضة حدوث تغيرات في كمون الغشاء السيتوبلاسمي للبيضة وتغيير الغلاف الخارجي للبيضة.

Once the cell is released, it is swept into the oviduct and moved toward the uterus. If sperms are present, they swarm around the egg as it passes down the oviduct, but only one sperm (figure 1) penetrates the outer layer to fertilize it and cause it to complete meiosis. The other sperms contribute enzymes, which digest away the protein and mucous barrier between the egg and successful sperm. Blocks to polyspermy include changes in membrane potential and altering of the external coat of the egg.

تكون الخطوة الأولى للتكاثر، في المتعضيات التي تتكاثر جنسياً، هي الإخصاب fertilization أي اتحاد العروس الذكرية (1ن) مع العروس الأنثوية (1ن) لتشكيل البيضة الملقحة zygote (2ن).

يحدث الإخصاب عبر ثلاث مراحل: اختراق النطفة للبيضة واندماج غشائيهما السيتوبلاسمين، تنشيط البيضة، واندماج نواتي كل من النطفة والبيضة.

لكي تتمكن النطفة من إخصاب البيضة فيجب أن تتمكن من اختراق طبقاتها الخارجية لتصل إلى غشائها السيتوبلاسمي (شكل 2).

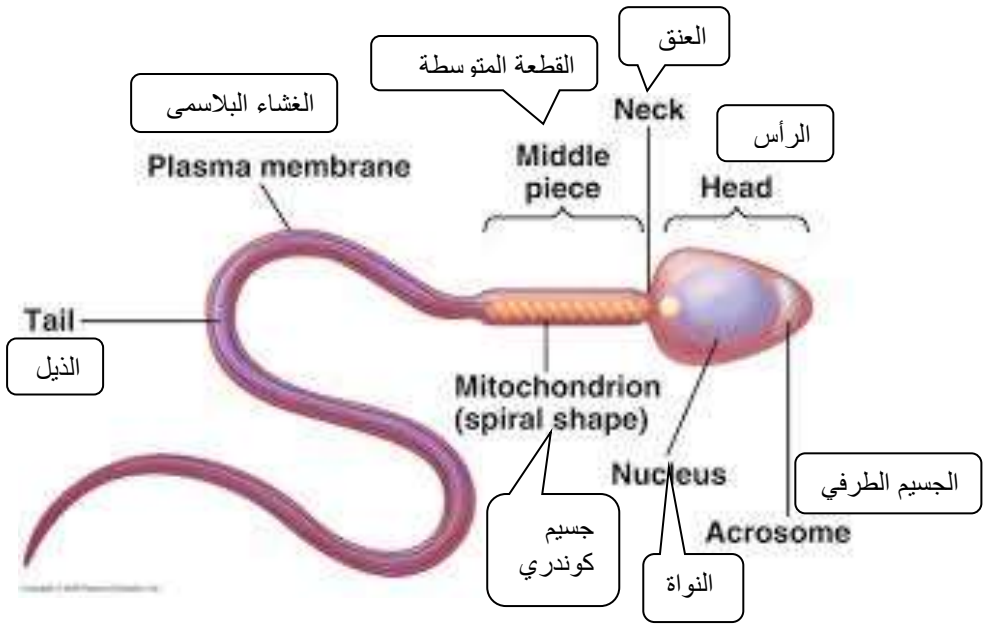


Figure 1: Structure of sperm شكل 1: بنية النطفة

يحوي الجسيم الطرفي للنطفة أنزيمات هاضمة تمكّنها من شق طريقها عبر الطبقات الخارجية للبيضة. إنّ اندماج الغشائين السيتوبلاسميين للنطفة والبيضة يسمح بعبور نواة النطفة مباشرة إلى سيتوبلاسما البيضة.

يحفّز اندماج الغشاءان تنشيط البيضة عن طريق تحرير شوارد الكالسيوم (Ca^{++}) التي تبدأ بإحداث تغيرات في البيضة (شكل 2). ويحدث اختراق النطفة تأثيرات أخرى للبيضة: إكمال الانقسام المنصف الثاني للبيضة، وإعادة ترتيب السيتوبلاسما، ويزداد اصطناع البروتين بشكل حاد.

خلال الانقسام الثاني من الانقسام المنصف، ينفصل الجسم القطبي الثاني وتشكل الخلية الأكبر، من الخليتين الناتجتين عن الانقسام، البيضة الحقيقية.

يكتمل الإخصاب عندما تندمج نواة النطفة الأحادية الصيغة الصبغية مع نواة البويضة الأحادية الصيغة الصبغية ويتشكل بيضة ملقحة ثنائية الصيغة zygote (شكل 3).

Fertilization occurs in three stages; sperm penetration and member fusion, egg activation, and fusion of nuclei.

For a sperm to fertilize an egg it must penetrate the external layers to reach the plasma membrane.

The acrosome contains digestive enzymes that enable the sperm to tunnel its way through the external layers to the ovum.

Fusion of the plasma membranes of the egg and sperm allow the sperm nucleus to pass directly into the egg cytoplasm.

Fusion of membrane triggers egg activation by the release of calcium, which initiate changes in the egg (figure 2).

Sperm penetration has other effects on the egg: meiosis is completed, cytoplasmic rearrangements occur and protein synthesis increase sharply.

Fertilization is completed when the haploid sperm nucleus fuse with the haploid egg nucleus and forming the diploid Zygote (figure 3).

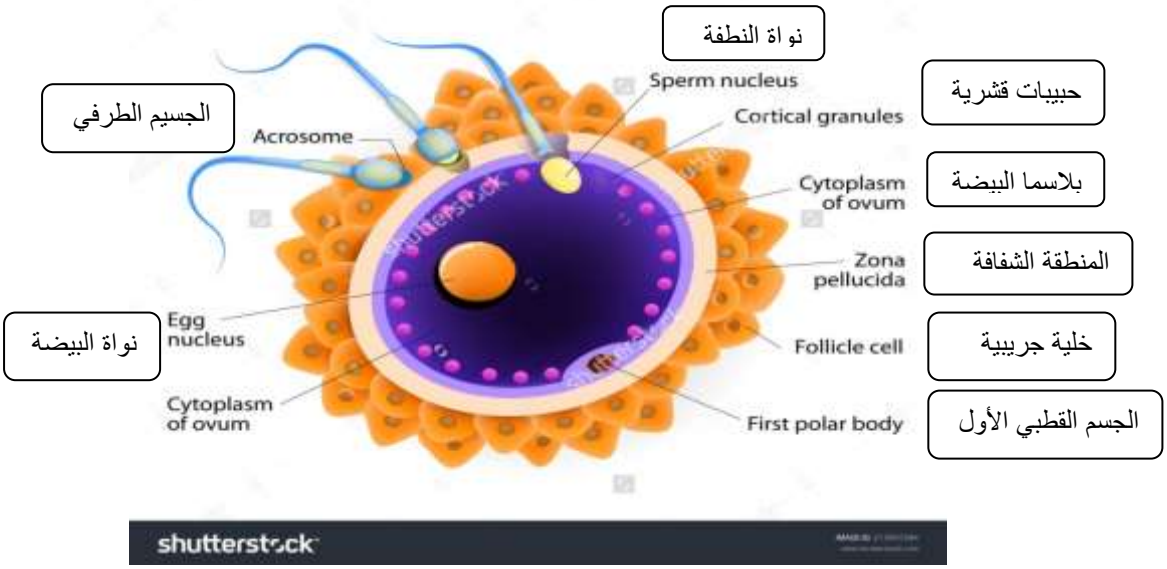


Figure 2: Egg Fertilization شكل 2: إخصاب البيضة

2- التقسم ومرحلة الأصيلة Cleavage and Blastula Stage

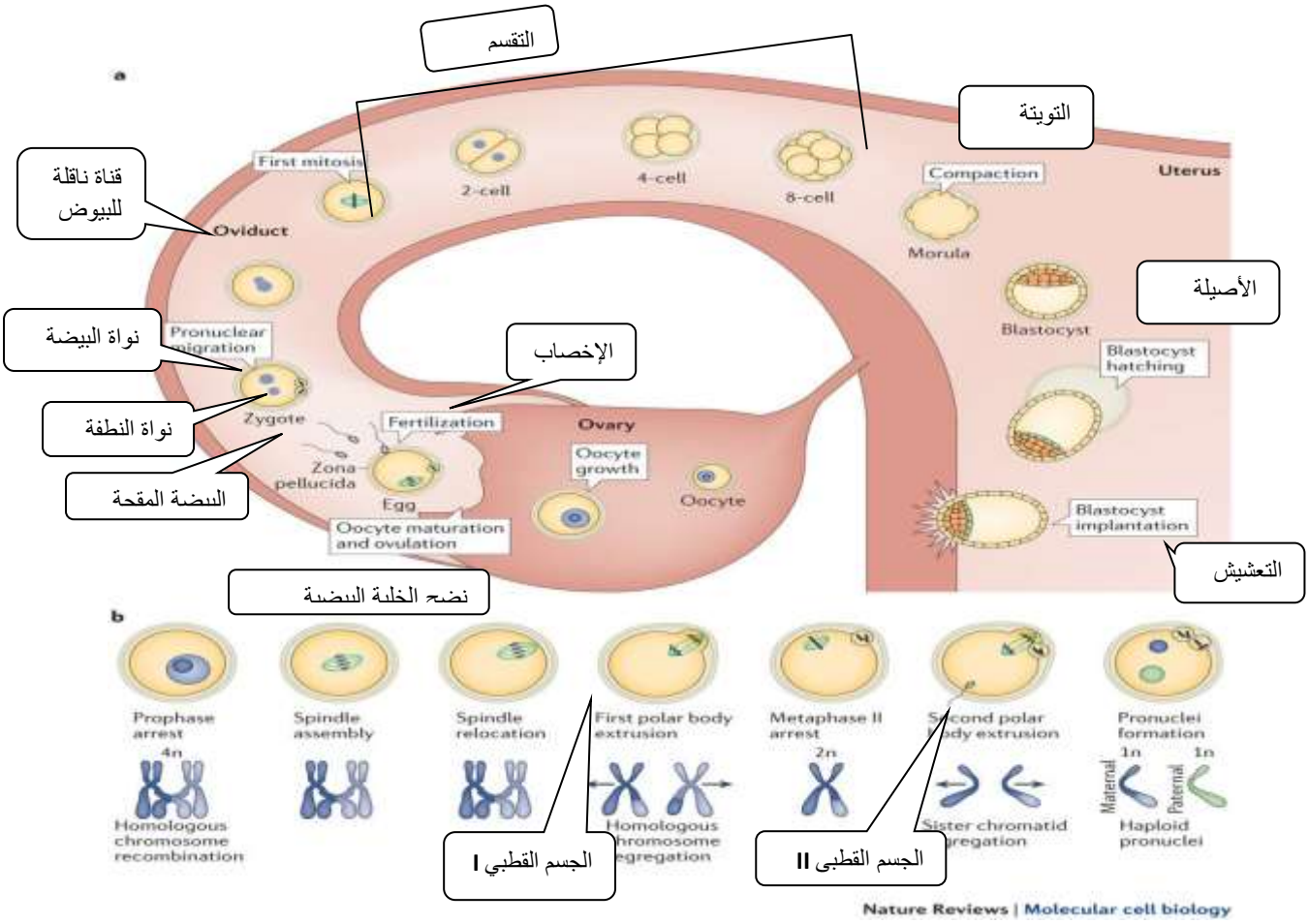
إنّ الحدث الرئيسي الثاني في تنامي الجنين الحيواني هو الانقسام الخيطي السريع للبيضة الملقّحة zygote أثناء هبوطها في القناة الناقلة للبيض والذي ينتج عنه عدد كبير من الخلايا الصغيرة وينتج في النهاية كرة مصمتة من الخلايا تعرف بمرحلة التويتة morula (16 خلية) وتدعى عملية الانقسام هذه بالتقسم cleavage .

تتصل خلايا التويتة الخارجية مع بعضها بشكل وثيق، ويخلق ضخ شوارد الصوديوم (Na+) إلى الفراغ الخلوي الداخلي تدرج حلولي، يجلب الماء للداخل ويخلق كرة جوفاء من الخلايا تدعى الأصيلة (الأرومة الأصل) Blastula التي تنغرس في بطانة الرحم عندما تصل إليها ويحدث ما يسمى بالتعشيش implantation (شكل 3).

The second major event in animal development is rapid mitosis dividing of the zygote, during passes down the oviduct, resulting in a large number of small cells. Eventually, a solid ball of cells is produced, known as the morula stage (16 cells). This division process is called cleavage.

Cleavage is a periodic series of cell division that does not increase the size of the embryo but produce smaller cells called blastomeres.

The outermost blastomeres join by tight junctions, and Na^+ pumped into the intracellular space creates an osmotic gradient, bringing in water and creating a hollow ball of cells called a blastula which implants in the uterine lining when it reaches the uterus (figure 3).



شكل 3: تنامي جنين الإنسان من البويضة إلى مرحلة التعشيش

Figure 3: Human Embryo Development from Ovulation to Implantation

3- تشكل المعيدة Gastrulation (gastrula formation)

يُنجز تشكل المعيدة بناء الجسم الرئيسي ويخلق ثلاث طبقات منشئة بدائية في الأجنة الحيوانية.

وهذه الطبقات المنشئة هي:

الأدمة الداخلية endoderm، والأدمة المتوسطة mesoderm، الأدمة الخارجية ectoderm (الشكل 4) ويحدث هذا في الأسبوع الثاني بعد الإخصاب .

يتم في هذه المرحلة إعادة انتظام خلايا الأصيلة حيث تتحرك بعض هذه الخلايا إلى داخل الجنين بينما يظل البعض الآخر على السطح. ويحدث أثناء هذه العملية انسداد تجويف الأصيلة ويتكون تجويف جديد هو تجويف المعيدة.

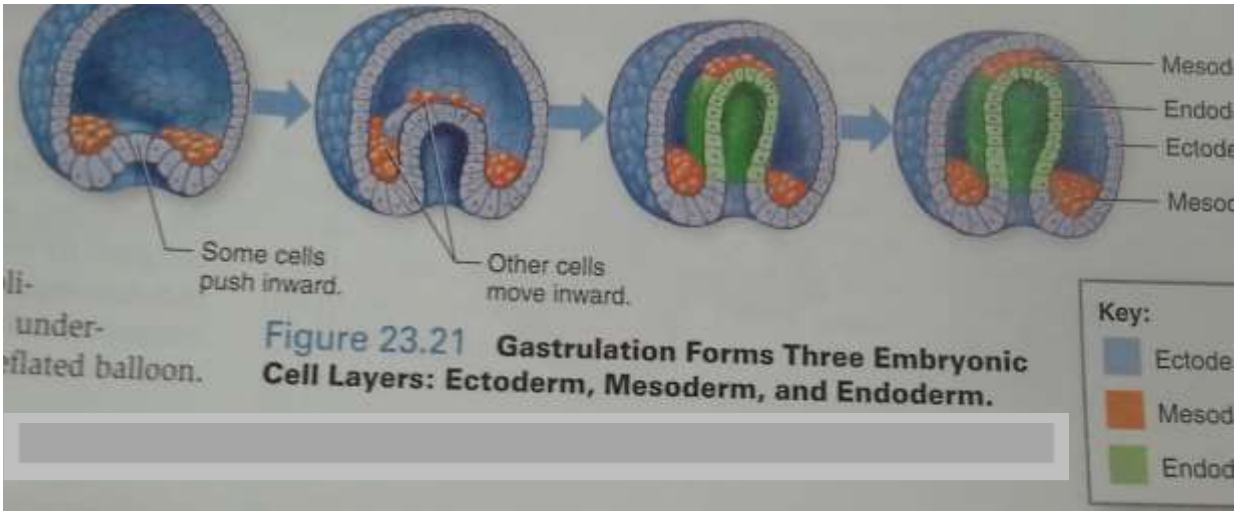
تملك الخلايا في كل طبقة منشئة مسار تطوري مختلف جداً عن الخلايا في الطبقتان الأخريان:

- تتحرك خلايا الأدمة الداخلية إلى داخل الجنين لتشكل أنبوب المعي البدائي؛ تعطي خلاياها بطانة المعي ومشتقاته (البانكرياس، الرئتين، الكبد وغيرها).
- بينما تبقى خلايا الأدمة الخارجية على السطح في الخارج، وتتضمن مشتقاتها البشرة في الجانب الخارجي من الجسم والجهاز العصبي.
- تشكل الخلايا التي تتحرك إلى الفراغ ما بين الأدمة الداخلية والخارجية ما يسمى بالأدمة الوسطى وتعطى هذه الخلايا بشكل نهائي الحبل الظهري والعظام والأوعية الدموية والنسج الضامة والعضلات والأعضاء الداخلية كالكلية والغدد.

Gastrulation establishes the basic body plan and creates the three primary germ layers of animal embryos.

Gastrulation produces the three germ layers: endoderm, ectoderm, and mesoderm (figure 4) and this take place in the second week after fertilization.

In this stage, cells of blastula are rearranged where some cells move into inside embryo, others stay on the surface. During this process, cavity of blastula is blocked and a new cavity is formed which is cavity of gastrula.



شكل 4: تشكل المعيدة ثلاث طبقات خلوية جنينية : الأدمة الخارجية ، الأجمة الوسطى، الأدمة الداخلية

The cells in each germ layer have very different developmental fates. The cells that move into the embryo to form the tube of the primitive gut are endoderm; they give the rise to the lining of the gut and its derivatives (pancreas, lungs, liver, etc.). The cells that remain in the exterior are ectoderm, and their derivatives include the epidermis in the outside of the body and the nervous system. The cell that moves into the space between the ectoderm and endoderm are mesoderm: they eventually form the notochord, bones, blood vessels, connective tissues, muscles and internal organs such as the kidneys and gonads.

II-الطبقة المنشئة للسن Tooth germ

تشتق الطبقة المنشئة للسن، السن الجنيني، من طبقات كل من الأدمتين الوسطى والخارجية للنسج الجنينية. يبدأ تطور الأسنان في الثدييات ومنها الإنسان في الجنين، عندما تتكاثر الصفيحة السنية (طبقة رقيقة من الأدمة خارجية) المتوضعة فوق العظام البدائية للفكين العلوي والسفلي في جانبي الفم لتشكل بنيتين لهما شكل حدوة الحصان بما يتوافق مع القناطر السنية المستقبلية (صفوف الأسنان).

Tooth germ, embryonic tooth, derived from the mesodermal (middle) and ectodermal (outer) layers of embryonic tissues. Tooth development in mammals, including humans, begins in the fetus when a thin ectodermal layer, the dental lamina, overlying the mouth sides of the rudimentary upper and lower jawbones, proliferates to form two horseshoe-shaped structures corresponding to the future dental arcades (the tooth rows).

تتطور أعضاء ميناء السن، على شكل انتفاخات دائرية، في الصفيحة السنية؛ كل انتفاخ هو موقع مستقبلي لسن واحد. يكون عضو ميناء السن مسؤولاً عن تخطيط الحجم الكامل لتاج السن وشكله؛ ويمارس تأثيراً تنظيماً على تطور أجزاء السن المشتقة من الأدمة الوسطى.

Enamel organs, in the form of rounded swellings, develop in the dental lamina; each swelling is the future site of a single tooth. The enamel organ is responsible for mapping out the full size and shape of the crown of the tooth; it also exerts an organizing influence over the development of the mesodermal portions of the tooth.

يصبح عضو ميناء السن تدريجياً مكعب الشكل ويغلف جزئياً البنية المجاورة والمشتقة من الأدمة المتوسطة ألا وهي النتوء السني. تحيط الأدمة المتوسطة الغير متضمنة للنتوء السني بعضو الميناء السني المتضخم وتشكل كيس غدي. ويشكل كل من عضو ميناء السن والنتوء السني والكيس الغدي مع بعضها الطبقة المنشئة للسن (الشكل 5).

Gradually becoming cup-shaped, the enamel organ partially encloses an adjacent mesodermal structure, the dental papilla. Unenclosed mesoderm of the dental papilla surrounds the enlarging enamel organ and forms a follicular sac. Together, enamel organ, dental papilla, and follicular sac constitute the tooth germ (figure 5).

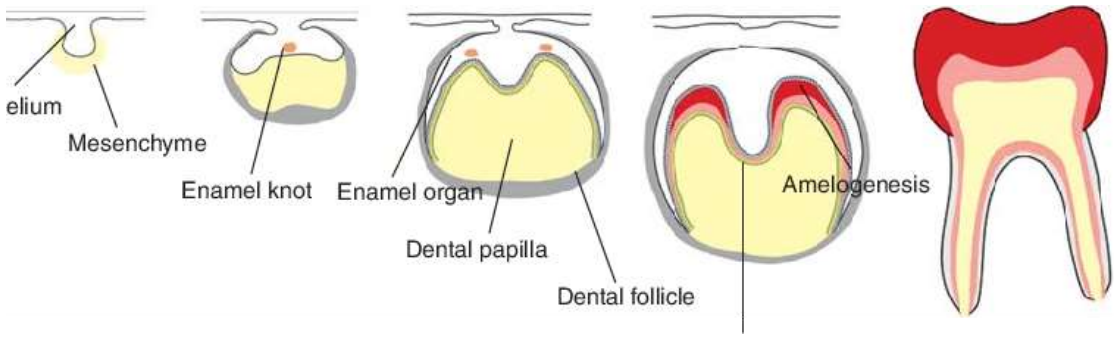
يشكل عضو الميناء السني بعد التمايز غطاء ميناء تاج السن؛ ويشكل النتوء السني عاج السن وحجرة لب السن؛ بينما يشكل الكيس الغدي الرباط أو الملاط حول السن. تتصل الطبقات الخلوية الخارجية والداخلية لعضو ميناء السن تحت التاج لتشكل غمد هيرتويغ Hertwig الذي يخطط شكل جذور السن؛ تتكلس هذه الجذور لاحقاً بواسطة خلايا أصلها من الأدمة الوسطى. يحدث ترسب الاملاح المعدنية في مكان اتصال عضو ميناء السن مع النتوء السني. تتضمن خلايا السن التي تكون نشطة في تمايز وتكلس الأسنان: أرومات المينا لميناء السن، وأرومات العاج للعاج، وأرومات الملاط لملاط الأسنان (الشكل 6).

عندما يكتمل التاج، تدفع الجذور النامية السن نحو التجويف الفموي. يتم ارتشاف العظم الذي يعتلي الدهليز السني ويشكل جراب السن ويتحول الكيس الغدي إلى رباط حول السن والذي يدعم ويحفظ السن في جرابه (الشكل 7).

After differentiation the enamel organ will have formed the enamel cap of the tooth crown; the dental papilla will have formed the dentine and pulp chamber

of the tooth; and the follicular sac, the periodontal membrane. The inner and outer cellular layers of the enamel organ continue beyond the crown and constitute the sheath of Hertwig, which maps out the shape of the tooth roots; these are later calcified by cells of mesodermal origin. Mineralization occurs at the junction of enamel organ and dental papilla. Tooth cells that are active in differentiation and calcification of the teeth include ameloblasts for the enamel, odontoblasts for the dentine, and cementoblasts for the cementum (figure 6).

When the crown is complete, the growing roots push the tooth toward the mouth cavity. Overlying bone is resorbed so that the bony crypt becomes a tooth socket, and the follicular sac is converted into a periodontal membrane, which supports and retains the tooth in its socket (figure 7).



الشكل5: مراحل تطور السن من الأدمات الجنينية

Figure 5: Stage of tooth development from embryonic germ layer

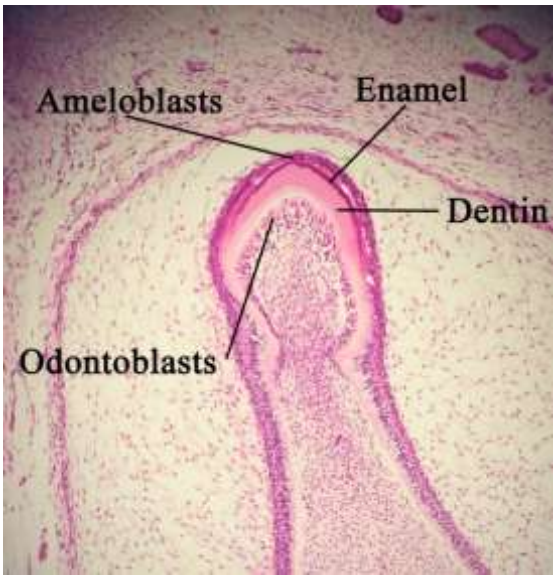


figure 6: tooth blasts الشكل 6: أرومات السن

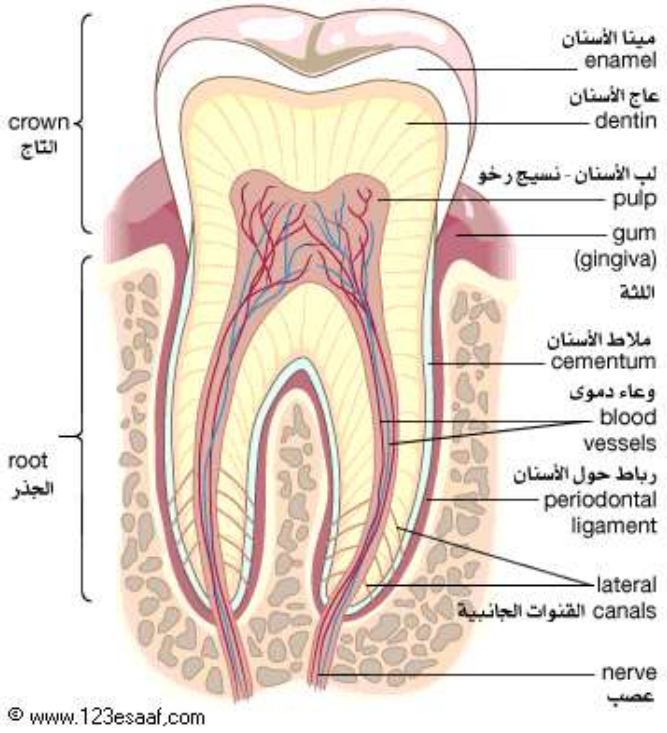


figure7: Structure and division of the tooth الشكل 7: بنية وأقسام السن

III-الأغشية الجنينية Embryonic membranes

طوّرت الأنواع السلوية كتكيف للحياة على اليابسة عدّة أغشية جنينية إضافية وهي:

- كيس المح yolk sac، والسلى amnion، والمشيم chorion، والسقاء allantois التي تغذي الجنين المتنامي وتحميه (شكل 8).

يكون جنين الثدييات في معظم أوقات تناميه محاطاً بغشاء (السلى) مملوء بالسائل السلوي، الذي يحميه من الارتطام ويبقيه رطباً (شكل 8).

يندمج المشيم والسقاء مع بطانة الرحم ليشكلا المشيمة placenta (شكل 9) حيث يتم تلبية متطلبات تغذية الجنين عن طريق المشيمة.

وتنتج المشيمة أيضاً هرمونات مشيمية موجِّهة تحفز الجسم الأصفر corpus luteum على الاستمرار في إنتاج البروجيستيرون وهذا يمنع حدوث الطمث والإباضة خلال الحمل إذ يمنع تطور الجريبات المبيضية الأخرى. والجدير بالذكر أنّ الجسم الأصفر هو عبارة عن كيس البيض بعد الإباضة حيث يقوم بإفراز الهرمونات اللازمة لدعم الحمل.

شكل 8: الجنين محاطاً بالسائل السلوي

Figure 8: Embryo enclosed in amniotic liquid

As an adaptation to life on dry land, amniotic species develop several extraebmryonic membranes: the yolk sac, amnion, chorion, and allantois, which nourish and protect the developing embryo (figure 8).

Most of the time during its development, the embryo is enclosed in water filled membrane (figure 8), the amnion, which protect it from blows and keep it moist. Two other membranes, the chorion and allantois, fuse with the lining of the uterus to form the placenta (figure 9).

The placenta also produces hormone chorionic gonadotropin, which stimulate the corpus luteum to continue producing progesterone and thus prevents menstruation and ovulation during pregnancy.

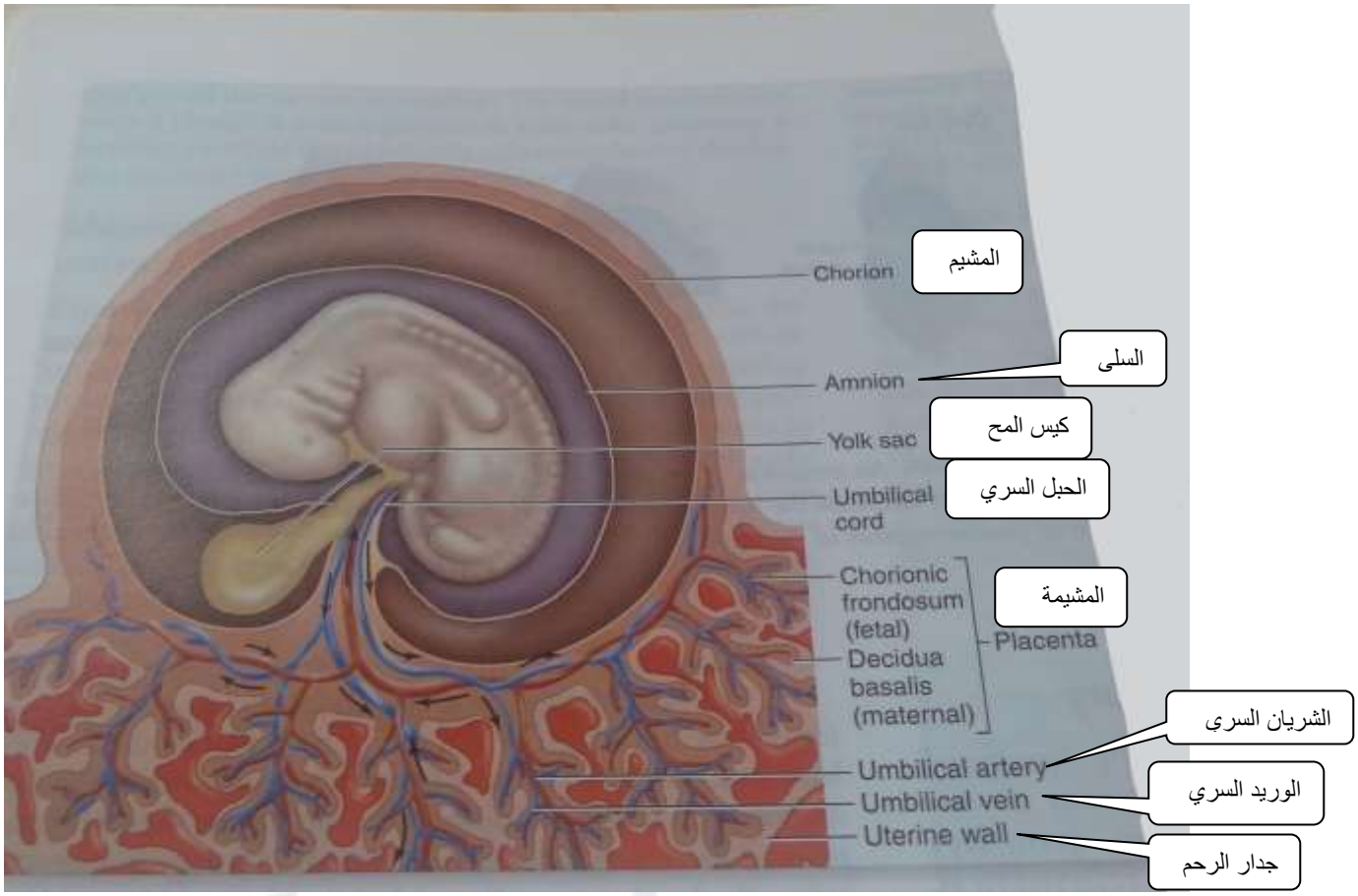


figure 8:Membranes surrounding human embryo :شكل 9: الأغشية المحيطة بجنين الإنسان

4- توليد الأعضاء والولادة Organogenesis and Birth

- توليد الأعضاء وهو تشكل الأعضاء في مواقعها المناسبة بواسطة تفاعلات الخلايا بين الطبقات المُنشِئة الثلاث وضمنها ويبدأ هذا في الأسبوع الرابع:

تتشكل العيون، يتطور الأنبوب القلبي إلى أربع حجرات ويبدأ تشكل براعم الذراعان والساقان (شكل 10).

- ويستمر تكون الأعضاء خلال الشهر الثاني: حيث يمكن رؤية كل من الذراعان والساقان وأصابع اليدين والقدمين وكذلك الذيل العظمي القصير. كما تظهر أعضاء التجويف البطني كالكبد، البنكرياس، والحويصل الصفراوي.

- ويتطور خلال الشهر الثالث الجهاز العصبي، ويبدأ الذراعان والساقان بالحركة وتبدأ تعابير الوجه بالظهور.

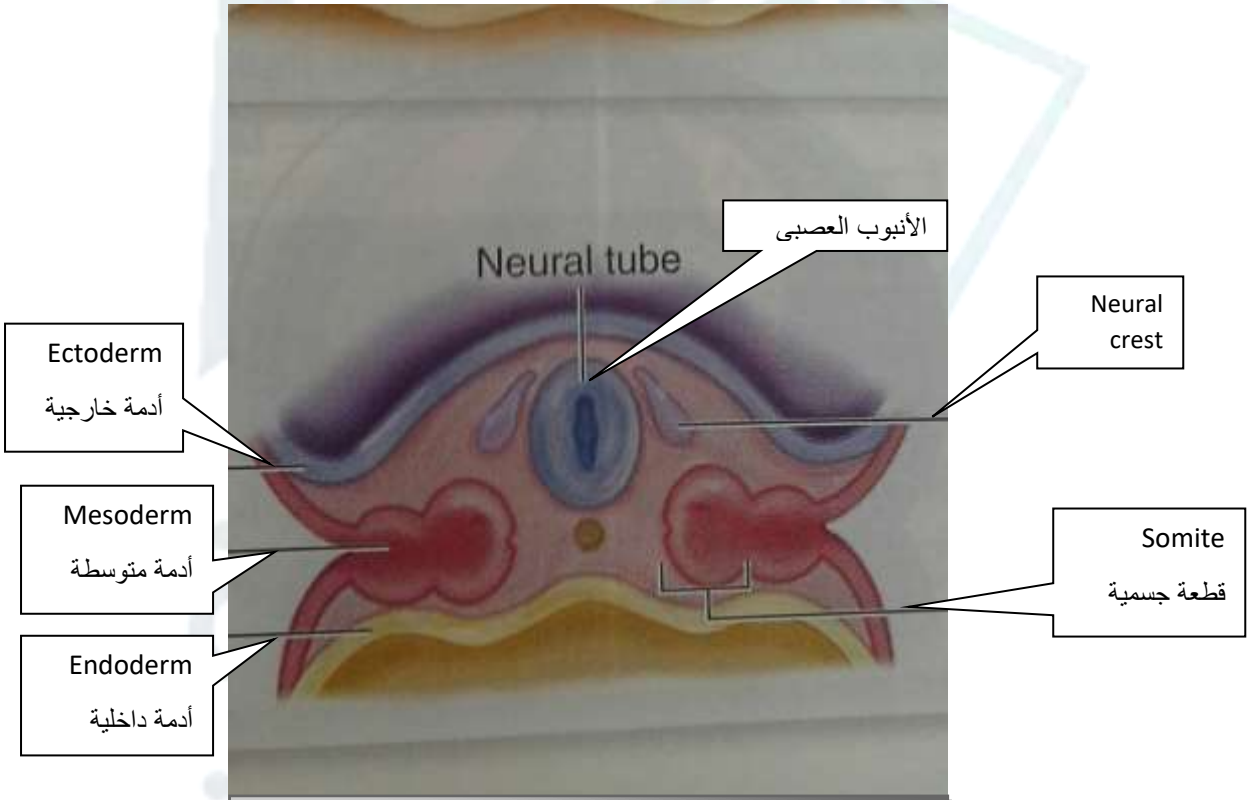
شكل10: تشكل براعم الذراعان والساقان في الجنين

Figure 10: Formation the Arm and Leg Buds

Organogenesis is the formation of organs in their proper locations by interactions of cells within and between the three germ layers. This begins during the fourth week: the eye form the tubular heart develops to its four chambers, the arm and leg buds begin to form. During the second month, the arms, legs, fingers, toes, as well as short bony tail can all be seen. Within abdominal cavity, liver, pancreas and gallbladder, become

evident. Nervous system develops during the third month and the arms and legs start to move. The embryo begins to show facial expressions.

يبدأ توليد الأعضاء في الفقاريات مع تشكيل الأنبوب العصبي من الأدمة الخارجية وتشكيل القطع الجسمية (التقطّع) من الأدمة الوسطى (شكل 11) وتعطي هذه القطع في الفقاريات: العضلات الهيكلية، والنسيج الغضروفي، وأدمة الجلد وغيرها.



شكل 11: تشكل الأنبوب العصبي والتقطّع

Figure 11: Neurulation and Somitogenesis

In the vertebrates, organogenesis begins with neurulation and somitogenesis (figure 11). Somitogenesis is the process by which somites

form. In vertebrates, somites give rise to skeletal muscle, cartilage, tendons, endothelial cells, and dermis.

تبدأ الولادة بإفراز ستيروئيدات قشرية من قشرة الأدرينالين الجنينية (الغدة فوق الكظر) التي تحفّز البروستاغلاندين (مركبات ذات تأثير مشابه للهرمونات) وتسبب التقلصات العضلية للرحم وحدوث الولادة (الشكل 12).

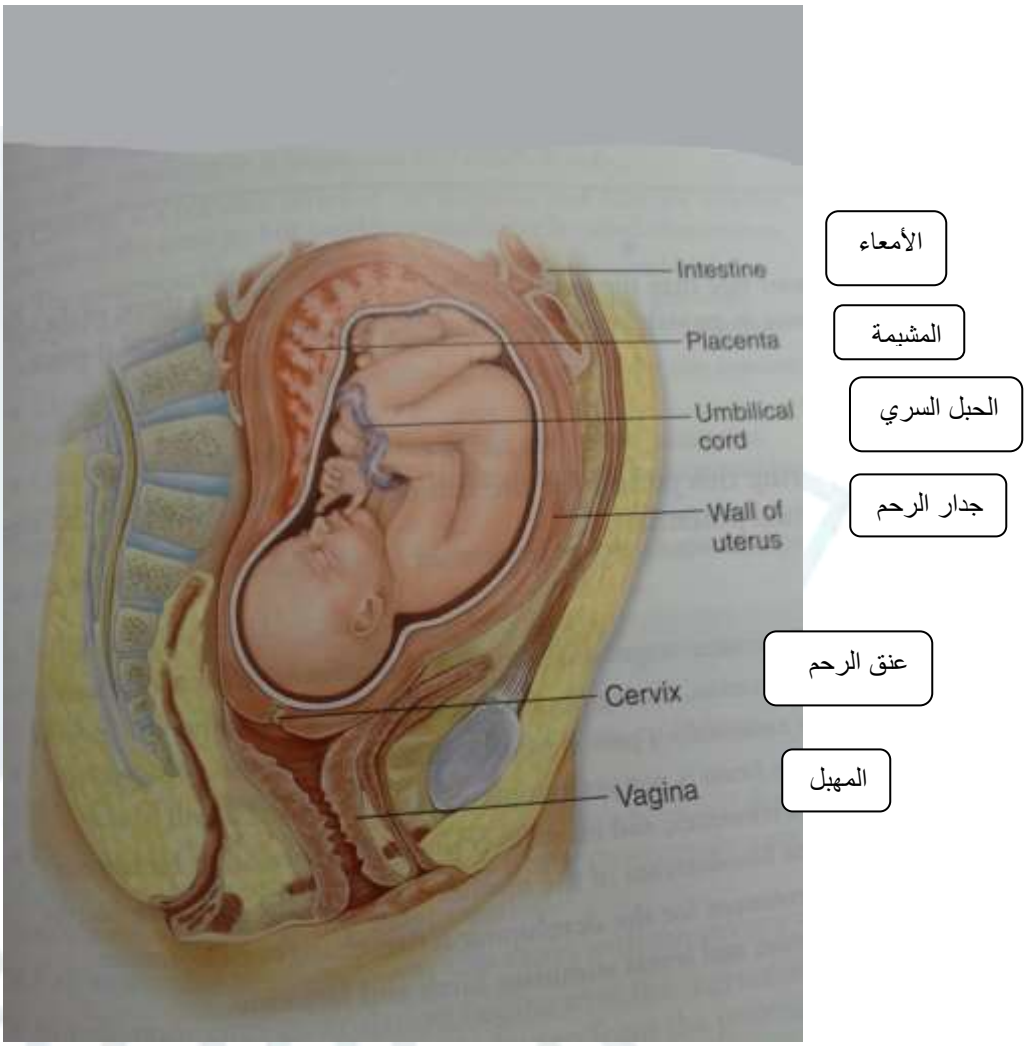
تُحْدِث التغذية (الرضاعة) منعكساً عصبياً ذو إفراز داخلي، مسبباً تحرير هرمون الأكسوتوسين والاستجابة بإفراز الحليب.

يستمر التنامي بعد الولادة بنمو الأعضاء المختلفة بمعدلات مختلفة ويدعى بالنمو المتفاوت.

Birth is initiated by secretions of corticosteroids from fetal adrenal cortex that induce prostaglandins, which cause contractions.

Nursing involves a neuroendocrine reflex, causing the release of oxytocin and the milk let-down response.

Postnatal development continues with different organs growing at different rates- called allometric growth.



شكل 12: جنيين جاهز للولادة (الشهر الأخير من الحمل)

Figure 12: the embryo is ready for birth (the ninth month of pregnancy)