



جامعة  
المنارة  
MANARA UNIVERSITY

كلية طبّ الأسنان

مقرر علم الخلية والمناعة

المحاضرة السادسة

الانقسام الخلوي والتكاثر

**Cell division and reproduction**

جامعة  
المنارة  
MANARA UNIVERSITY

د. علي منصور

## مقدمة:

تتميز الكائنات الحية بخواص من أهمها القدرة على النمو والتكاثر وذلك نتيجة لقدرة الخلية الحية على الانقسام. حيث يتضمن الانقسام الخلوي عملية تحول الخلية إلى خليتين بنتين. وتكمن أهمية الانقسام في أنه:

- يعدّ طريقة لزيادة عدد الخلايا (عدد الأفراد) بالنسبة للكائنات وحيدة الخلية.
- أما في المتعضيات كثيرات الخلايا فتكون وظيفة الانقسام الخلوي:
  - ✓ تحقيق النمو وتبديل الخلايا التالفة ومعالجة الإصابات والجروح.
  - ✓ تشكيل الخلايا التكاثرية (تعطي باتحادها متعضية جديدة عن طريق انقسام البيضة الملقحة).

The two fundamental characteristics of life are: the ability to grow and the ability to reproduce. Both characteristics depend on the cell ability to divide. Cell division is the process by which a cell produces two daughter cells. Cell division serves many purposes:

For single-celled organisms, it is a method of increasing their number.

For multicellular organisms, it is a process that leads to growth, replacement of damaged cells, healing injuries, and producing reproductive cells. These reproductive cells fuse together to produce a new organism which grows by division of zygote.

## أنماط التكاثر:

- هناك نمطين رئيسيين من التكاثر (شكل 1) There are two main types of reproduction (figure 1):

## 1- التكاثر اللاجنسي **Asexual reproduction**:

يعدّ كل من الانشطار الثنائي والانقسام الخيطي طريقتين من طرق التكاثر اللاجنسي عند المتعضيات. حيث يحتاج لخلية أم واحدة تنقسم لتعطي خليتين جديدتين مماثلتين وراثياً لهذه الخلية الأم.

Both binary fission and mitosis are methods of asexual reproduction. The asexual reproduction requires only one parent cell which divides and produces two daughter cells that are genetically identical to the parent cell.

**A- الانشطار الثنائي Binary Fission:** يطرأ على وحيدات الخلية وخاصة بدائية النوى. يتم خلال هذه العملية تضاعف المادة النووية لتنفصل جزيئتا DNA ويتشكل جدار خلوي يفصل بينهما وينتج خليتين بنتين. تضمن هذه الآلية من التكاثر حصول كلا الخليتين البنتين على نفس كمية DNA الموجودة في الخلية الأم وهدفة زيادة عدد وحيدات الخلية.

Binary fission is a method of cell division used by unicellular organisms especially prokaryotes. During binary fission, the prokaryotic cell's single strand of DNA replicates, the two strands separate, and a new cell wall is formed between the two DNA molecules and results two daughter cells. This ensures that each of the daughter cells receives the same information that was found in the parent cell. It aims to increase the number of prokaryotic organisms.

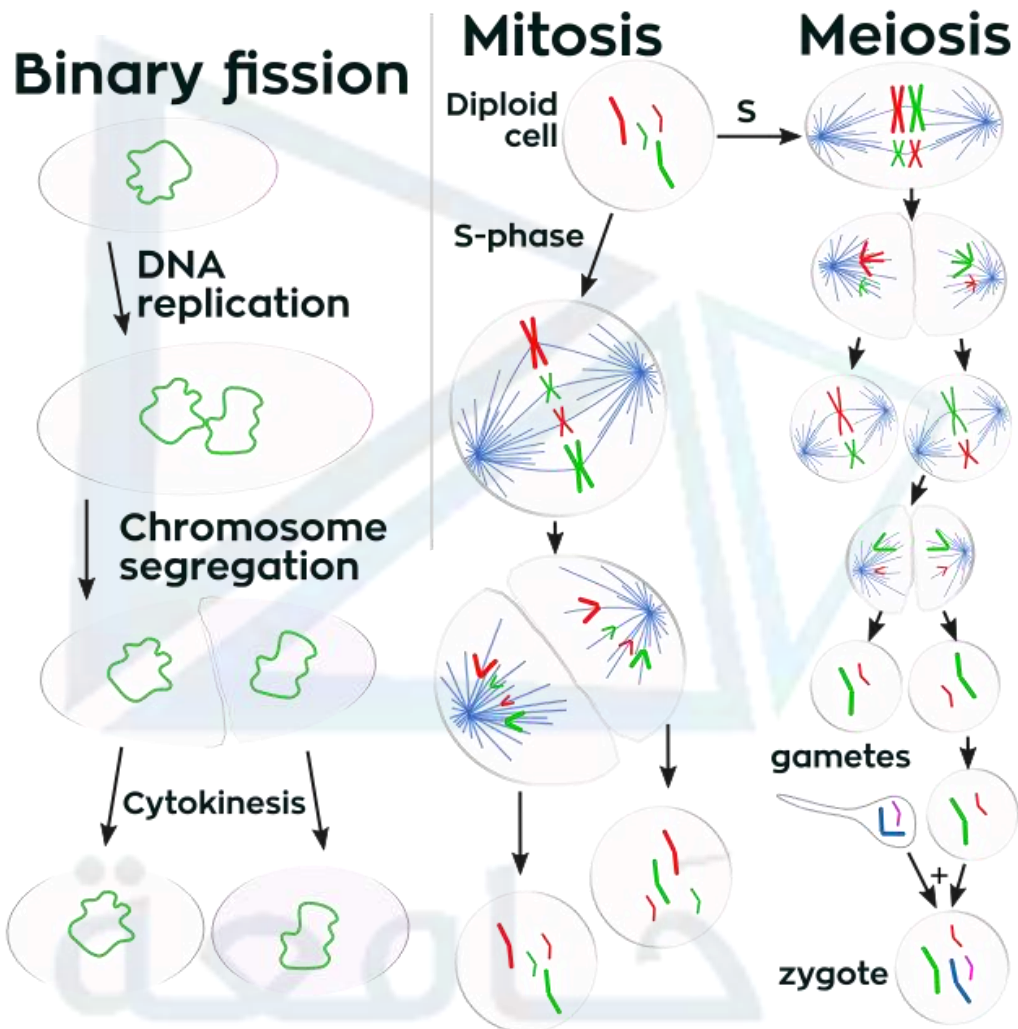
## B- الانقسام الخيطي Mitosis:

وهو نمط من أنماط الانقسام الخلوي عند الكائنات حقيقية النوى، وهو يماثل الانشطار الثنائي، حيث تنقسم الخلية الأم لتعطي خليتين بنتين متماثلتين ومماثلتين وراثياً للخلية الأم (نفس كمية ونوع المادة الوراثية). هذا وتملك الخلايا حقيقية النوى عدّة صبغيات يتم تضاعفها وانقسامها بعمليات معقّدة. يكون هدف هذا النوع من التكاثر هو النمو وتبديل الخلايا التالفة ومعالجة الإصابات والجروح.

The second type of cell division is mitosis, a method of cell division in eukaryotes; like binary fission, it also produces two identical daughter cells that are also genetically identical to the parent cell (the same amount and type of genetic material). Eukaryotic cells have several chromosomes that are replicated and divided by complex processes. The aim of this type of reproduction is growth, replacement of damaged cells, healing wounds and injuries.

## 2- التكاثر الجنسي Sexual Reproduction

يحدث هذا النمط من التكاثر عند الكائنات حقيقية النوى ويتمثل بالانقسام المنصف Meiosis الذي يمثل آلية لإنتاج الخلايا اللازمة للتكاثر الجنسي (الخلايا التكاثرية، والأعراس). تكون الصيغة الصبغية للخلايا البنات الناتجة عن هذا الانقسام نصف الصيغة الموجودة عند الخلية الأم. ويحتاج هذا النمط من التكاثر إلى أبوين لإعطاء المادة الوراثية اللازمة لتشكيل فرد جديد. حيث يمثل التكاثر الجنسي اجتماع المعلومات الوراثية القادمة من كلا الأبوين لذا يكون الفرد الناتج فريداً. تمتلك هذه الخلايا نصف كمية المادة الوراثية الموجودة لدى الخلايا الأم المؤدّة للأعراس. وعند اتحاد العروس المذكرة (النطفة) مع العروس المؤنثة (البيضة) تتشكل البيضة الملقحة التي تمتلك نفس العدد الصبغي لكل من الأبوين.



شكل 1: الأنواع المختلفة من الانقسام الخلوي **figure1: Types of Cellular Division**

This type of reproduction occurs in eukaryotes, and it includes meiosis a method of cell division that produces daughter cells that have half the genetic information of the parent cell.

This kind of reproduction requires two parents to give genetic information and produce a new organism. Sexual reproduction is the combining of genetic information coming from two parents. Therefore, the new individual is unique. These cells have half of genetic material found in mother cell. The male gamete (sperm) and female gamete (egg) fuse together to form zygote which has same number of chromosomes of the parents .

### **الدورة الخلوية والانقسام الخيطي The Cell Cycle and Mitosis**

تتضمن الدورة الخلوية جميع مراحل النمو والانقسام في الخلية حقيقية النوى. إنّ جميع الخلايا حقيقية النوى لها حلقة حياة مشتركة، لكنها تختلف فيما بينها بالفترة الزمنية التي تقضيها في كل مرحلة من مراحل الدورة الخلوية. وبما أنّ حلقة حياة الخلية عبارة عن عمليات متواصلة من دون بداية أو نهاية محددة، فبمجرد الانتهاء من دورة تعود الخلية للبدء من جديد بالدورة اللاحقة. وتتضمن الدورة الخلوية مراحل تنشغل خلالها الخلية بالعمليات الاستقلابية ومراحل الانقسام الخلوي.

The cell cycle consists of all the stages of growth and division for a eukaryotic cell.

All eukaryotic cells go through the same basic life cycle, but they vary in the period of time spent in each stage. As the cell's life cycle is a continuous process without a beginning or an end, so when cells complete one cycle, they begin the next.

The cell cycle includes the stages in which the cell spends its time involved in metabolism, as well as the stages of cell division.

### أ- الطور البيني (interphase):

أول أطوار الدارة الخلوية وأطولها زمنياً، حيث تكون الخلية نشطة استقلابياً للتحضير لعملية الانقسام اللاحقة. وتتضمن ثلاثة مراحل:

طور النمو الأول G1، طور التركيب S، طور النمو الثاني G2.

Interphase is the longest stage of the cell cycle. During interphase, the cell engages in metabolic activities to prepare for the next cell division.

Interphase contains three distinct phases of cell activity G1, S, and G2.

#### 1- طور النمو الأول (G1):

تقوم الخلية، خلال هذه المرحلة، بجمع المواد المغذية وغيرها من الوسط المحيط لتنمو وتتابع عملياتها الحيوية الاعتيادية (مثل إنتاج RNA الرسول (mRNA) و RNA الناقل (tRNA)، والجسيمات الريبية والأنزيمات وغيرها من المكونات). غالباً ما تبقى الخلية لفترة مطولة في مرحلة G1 وهي عملية اعتيادية، ولكن عندما تبقى الخلية في هذه المرحلة وتتوقف عن الانقسام يتغير تسميتها في هذه الحالة إلى G0 لأن الخلية لا تتابع الدارة الخلوية. ويحدث هذا بسبب كون الخلية في المرحلة G0 تصبح متميزة أو متخصصة في وظيفتها كأن تصبح خلية عصبية. أما في حال إقبال الخلية على الانقسام فهي تنتقل إلى الطور S.

#### 1- The G1 stage of interphase (the first gap phase):

During the G1 stage, the cell gathers nutrients and other resources from surrounding environment. Gathering nutrients allows the cell both to grow in size and to carry out its usual metabolic roles, such as producing tRNA, mRNA, ribosomes, enzymes, and other cell components.

Often, a cell stays in G1 for an extended period, and this is a normal process. For cells that remain in the G1 stage for a long time and stop dividing, the stage is often renamed the G0 stage, because the cell is not moving forward through the cell cycle. In the G0 stage, cells may become differentiated, or specialized in their function, such as becoming nerve cells. If a cell is going to divide, it moves to the S stage.

## 2- طور التركيب (S):

يتم في هذا الطور تركيب (تضاعف) DNA، ومع وجود نسختين من المادة الوراثية تكون الخلية قادرة على توزيع هاتين النسختين كصبغيات على الخليتين البنيتين. يكون جزيء DNA في الصبغي مرتباً ببروتينات هستونية ليشكل ما يسمى بالجسيمات النووية (nucleosomes) والتي تلتف بدورها لتشكل الخيوط الكروماتينية (الصبغية) Chromatins. تكون شرائط خيط الكروماتين المفرد رفيعة جداً بحيث يصعب رؤيتها. وعندما تصبح خيوط الكروماتين ملتفة يمكن رؤيتها كصبغيات. ويمكن مراقبة الصبغيات والتي تصبح أكثر وضوحاً في بداية الانقسام الخيطي كجزأي خيطين بجانب بعضهما البعض ويدعى كل منهما كروماتيد (صبيغي) chromatid و الصبيغي هو أحد الجزئين المتوازيين للصبغي الواحد. ويحوي الصبغي على جزيء واحد من DNA. وبعد تضاعف DNA يصبح كل صبغي محتويًا على جزيئي DNA: جزيء واحد في كل صبيغي شقيق. والصبيغين الشقيقين هما صبيغين في صبغي واحد تم إنتاجهما بالتضاعف وهما يحويان نفس DNA. ويتم اتصال الصبيغين الشقيقين في الصبغي الواحد بنقطة تدعى القسم المركزي centromere.



### **The S stage of interphase (synthesis phase):**

During the S stage, DNA synthesis (replication) occurs. With two copies of the genetic material, the cell can distribute copies to the daughter cells as chromosomes.

The DNA in chromosome is wrapped around histone proteins to form nucleosomes. The nucleosomes are coiled into chromatin. Chromatin is DNA wrapped around histones proteins. The individual chromatin strands are too thin to be seen. When chromatin becomes coiled, it becomes visible as a chromosome. As chromosomes become more visible at the beginning of mitosis, we may observe two threadlike parts lie side by side. Each parallel thread is called a chromatid. A chromatid is one of the two parallel parts of a chromosome, each chromosome that contains one DNA molecule. After DNA synthesis, the chromosome contains two DNA molecules, one in each sister chromatid. Sister chromatids are the 2 chromatids of a chromosome that were produced by replication and that contain the same DNA. The centromere is the point where the sister chromatids are attached in a chromosome.

### **3- طور النمو الثاني (G2):**

يمثل المرحلة الأخيرة من الطور البيني، حيث تحدث التحضيرات النهائية لعملية الانقسام الخيطي. وتتمثل باصطناع خلوي مكثف لمكتنفات خلوية تحتاجها الخلية لتنجز الانقسام الخلوي بنجاح، مثل البروتين الذي سوف يستخدم في تحريك الصبغيات. يكون الغشاء النووي والنوية (موقع صناعة الجسيمات الريبية) واضحين في هذه المرحلة من الدارة الخلوية. وتكون خيوط الكروماتين متضاعفة ولكن غير ملتفة ولذلك لا يمكن رؤية الصبغيات الفردية في هذه المرحلة.

### **The G2 stage of interphase (the second gap phase):**

The final stage of interphase is G2. During G2 stage, final preparations are made for mitosis. The cell makes the cellular components it will need to divide successfully, such as the proteins it will be used to move the chromosomes.

At this point in the cell cycle, the nuclear membrane is intact. The chromatin has replicated, but it has not coiled and so the individual chromosomes are not yet visible. The nucleolus, the site of ribosome manufacture, is also still visible during the G2 stage.

### **ب- الانقسام الخيطي (mitosis):**

ليس هناك نقاط فاصلة بين مراحل الانقسام لذا استخدم العلماء أحداث مفتاحية للتمييز بين أربعة مراحل وهي: الطور التحضيري، والطور الاستوائي، وطور الانفصال (الهجرة)، والطور النهائي.

### **Mitosis-cell replication**

The individual stages of mitosis transition seamlessly from one to the next. Because there are no clear cut beginning or ending points for each stage, scientists use key events to identify the different stages of mitosis.

The four phases are:

prophase, metaphase, anaphase, and telophase.

**1- الطور التحضيري (prophase):** أهم ما يحدث خلال هذا الطور هو تكثف وتحلّز الخيوط الكروماتينية لتبدأ بنية الصبغيات بالظهور، تُشكل ألياف مغزل الانقسام ومغزل الانقسام، وبداية تخرب الغشاء النووي، واختفاء النوية.

### 1-Prophase:

Key events: Chromosomes condense, Spindle and spindle fibres form, Nuclear membrane disassembles, nucleolus disappears.

### 2- الطور الاستوائي (metaphase):

تكون الصبغيات في هذه المرحلة بأعلى درجات التكتف والثخن، بحيث ترتبط الصبغيات بجزئها المركزي مع خيوط مغزل الانقسام عن طريق معقد بروتيني يدعى الحيز الحركي (kinetochore). تتوضع الصبغيات خلال الطور الاستوائي في الصفيحة الاستوائية للخلية. وتعتبر هذه المرحلة من أفضل المراحل لدراسة عدد وشكل وحجم الصبغيات.

Chromosomes align at the equatorial phase of the cell. The chromosomes are at their most tightly coiled, are attached to spindle fibres and move along the spindle fibres until all their centromeres align along the equatorial plane of the cell. It is considered the best stage to study number, shape and size of chromosomes.

### 3- طور الانفصال أو الهجرة (anaphase):

إنّ عملية شد ألياف مغزل الانقسام للصبغيات تؤدي إلى فصل الصبغيين الشقيقين ليعطي كل منهما صبغي منفصل يهاجر إلى قطب معاكس للصبغي الآخر.

Sister chromatids move toward opposite poles of the cell. And these chromatids become known as separate daughter chromosomes.

### 4- الطور النهائي (telophase):

في هذه المرحلة تنفك خيوط مغزل الانقسام، وينفك تحلزن الصبغيات لتعود الخيوط الكروماتينية إلى الظهور وتعود النويات والغشاء النووي للتشكل.

Spindle fibres disassemble, Chromosomes uncoil, nuclear membrane re-forms, Nucleolus re-forms.

### ج- الانقسام السيتوبلازمي (cytokinesis):

تتشكل في هذا الطور حلقة تقلصية ذات طبيعية اكتينية تقسم سيتوبلازما الخلية والعضيات المختلفة إلى قسمين لإعطاء خليتين بنتين جديدتين.

In this phase, a contractile ring, made up of actin microfilaments, is formed to divide cytoplasm of the cell and different organelles into two new cells.

### تنظيم الانقسام الخيطي:

تتحكم الخلية بالانقسام، بحيث تستقبل رسائل من داخلها ومن الوسط المحيط ليكون نشاطها متناغماً مع الظروف المحيطة ومع حاجة الخلية نفسها. تتواجد في الخلية مورثات منشّطة (محرّضة) للانقسام وأخرى مثبّطة لعملية الانقسام. ففي الحالة الطبيعية يكون هناك توازن بين عمل هذين النوعين من المورثات.

تعدّ المورثة *p53* (مورثة مثبّطة للانقسام) مسؤولة عن إنتاج بروتين يحدد فيما إذا كان DNA الخلية متضرر أم لا:

- إذا كان DNA سليم فإنّ هذه المورثة تسمح للخلية بالانقسام،
- أمّا إذا اكتشف هذا البروتين DNA متضرر فهو يحفّز بروتينات أخرى لتنشط وتصلحه.
- وإذا كان الضرر كبيراً بحيث يصعب إصلاح DNA، يحفّز هذا البروتين استجابة مختلفة تماماً للخلية فهو يسبب تدمير ذاتي لها.

وقد أكّدت الأبحاث أنّ 40% من حالات السرطان الموثقة سببها طفرة في المورثة *p53* ويمكن أن تتم وراثتها هذه الطفرة أو أن تحدث بسبب عوامل البيئة المحيطة.

بالإضافة إلى عمل المورثات المحرّضة والمثبّطة لتنظيم انقسام الخلايا، هناك ما يدعى بنقاط التفتيش (checkpoints) وهي عبارة عن أوقات في الدارة الخلوية تتأكد فيها الخلايا من أنّها جاهزة للانقسام اللاحق. تستعمل الخلايا في هذه النقاط البروتينات لتقييم صحة مادتهم

الوراثية، وموقع الخلايا في الجسم، وإذا كانت لا تزال بحاجة لخلايا إضافية. في حال ضعف الحالة الصحية للمادة الوراثية، أو المكان الخاطئ للخلايا، أو وجود ظروف ازدحام تُفسر كإشارات أنه على الخلايا الترتيب. بينما تُفسر الظروف الجيدة كإشارات أنه على الخلايا متابعة الانقسام الخلوي.

### Controlling Mitosis

The cell division process is regulated so that it does not interfere with the activities of other cells or of the whole organism to determine if cell division is appropriate, many cells gather information about themselves and their environment.

The cell produces many proteins to gather this information and assesses if cell division is appropriate. These proteins are made by one of two classes of genes. **Proto-oncogenes** code for proteins that provide signals to the cell that encourage cell division. **Tumour-suppressor genes** code for proteins that provide signals that discourage cell division. A healthy cell receives signals from both groups of proteins about how appropriate it is to divide.

The balance of information provided by these two groups of proteins allows for controlled cell division.

One tumour-suppressor gene is *p53*. Near the end of G1, the protein produced by the *p53* gene identifies if the cell's DNA is damaged. If the DNA is healthy, *p53* allows the cell to divide. If the *p53* protein detects damaged DNA, it triggers other proteins to become active and repair the DNA. If the damage is too extensive for repair, the *p53* protein triggers

an entirely different response from the cell. The p53 protein causes the cell to self-destruct.

The p53 protein is mutated in 40% of all cancers. The mutation may be inherited or may be caused by agents in the environment.

Checkpoints are times during the cell cycle when cells determine if they are prepared to move forward with cell division.

At these checkpoints, cells use proteins to evaluate their genetic health, their location in the body, and a need for more cells. Poor genetic health, the wrong location, and crowded conditions are typically interpreted as signals to wait. Good conditions are interpreted as signals to proceed with cell division.

#### 4-7 الانقسام المنصف- تشكيل الأعراس Meiosis-Gamete production

لتشكيل الأعراس التي تحوي على نصف الصيغة الصبغية لكل من الأبوين، تطراً على الخلايا الأم المولدة للأعراس عملية الانقسام المنصف الذي يتمثل بانقسامين متتاليين: الانقسام المنصف الأول (منصف) والانقسام المنصف الثاني (خيطي). ويكون الانقسام المنصف الأول مسبقاً بالطور البيني.

Gamete mother cell undergoes meiosis to produce haploid gametes.

Meiosis includes two sequenced divisions: Meiosis I and Meiosis II. The Meiosis I is preceded by interphase.

## - الانقسام المنصف الأول:

يتم في هذا الانقسام تنصيف العدد الصبغي ليتحول من ثنائي الصيغة إلى أحادي. حيث يمكن تمييز أربعة مراحل في الانقسام المنصف الأول: الطور التحضيري الأول، الطور الاستوائي الأول، طور الهجرة الأول، الطور النهائي الأول.

### - Meiosis I

Meiosis I is a reduction division, in which the chromosome number in the two cells produced is reduced from diploid to haploid. The sequence of events in meiosis I is divided into four phases: prophase I, metaphase I, anaphase I, and telophase I.

1- الطور التحضيري الأول: أهم ما يحدث خلال هذا الطور هو تكثف وتحلزن الخيوط الكروماتينية لتبدأ بنية الصبغيات بالظهور، تشكل ألياف مغزل الانقسام، و بداية تخرب الغشاء النووي. في الانقسام المنصف الأول يقسم الطور التحضيري إلى خمس مراحل. تتضمن بداية التفاف وتحلزن الصبغيات وإلتقاء كل صبغيين قرينين وارتباطهما في نقاط محددة لتتشكل التصالبات (chiasmata) والتي تتمثل بنقاط التقاطع الفيزيائية بين الصبغيين غير الشقيقين المنتميين لزوج صبغي قرين. وبنتيجة التصالبات يتم تبادل المادة الوراثية فيما بين الصبغيين غير الشقيقين عبر حادثة تدعى العبور (-crossing over).

إن تبادل المادة الوراثية يؤدي إلى تراكيب وراثية جديدة، تجعل من الأفراد الناتجة عن التكاثر الجنسي فريدة. لذا يؤمن التكاثر الجنسي التنوع الهائل في الكائنات الحية والنظم الحيوية.

### 1- Prophase I: key events:

Chromosomes condense, Spindle and spindle fibres,  
Nuclear membrane disassembles, Synapsis and crossing-  
over occur

## 2-الطور الاستوائي الأول (metaphase):

تكون الصبغيات في هذه المرحلة بأعلى درجات التكثف والثن، بحيث ترتبط الصبغيات بجزئها المركزي مع خيوط مغزل الانقسام عن طريق الحيز الحركي (kinetochore). وتتوضع الصبغيات في اللوحة الاستوائية على شكل أزواج.

### 2- Metaphase I:

The chromosomes are at their most tightly coiled, are attached to spindle fibres by their centromeres through kinetochore . Chromosomes align on equatorial plane as synapsed pairs.

## 3-طور الانفصال أو الهجرة الأول (anaphase):

يتم في هذه المرحلة هجرة كل صبغي مؤلف من صبيغيين من الزوج الصبغي القرين إلى أحد قطبي الخلية دون أن يتم انفصال الصبيغيين الشقيقين عن بعضهما مما يؤمن تنصيف الصيغة الصبغية للخلية الأم.

### 3- Anaphase I:

Homologous chromosomes separate from each other. Without separating sister chromatids from each other. This secures halving number of Chromosomes. Chromosomes move toward cell's poles.

Reduction occurs (diploid 2N to haploid 1N).



#### 4-الطور النهائي الأول (telophase):

تتفك خيوط مغزل الانقسام في هذه المرحلة، وينفك تحلزن الصبغيات لتعود الخيوط الكروماتينية إلى الظهور وتعود النويات والغشاء النووي للتشكل. تنتج في نهاية الانقسام المنصف الأول خليتان عن الخلية الأم، بحيث تحمل كل منهما نصف عدد صبغيات الخلية الأم.

#### 4- Telophase I:

Spindle fibres disassemble, Chromosomes uncoil, Nuclear membrane re-forms, Nucleoli reappear. Four haploid cells are produced by the end of cell division.

#### الانقسام المنصف الثاني

يتضمن أربعة مراحل: الطور التحضيري الثاني، الطور الاستوائي الثاني، طور الهجرة الثاني، الطور النهائي الثاني. العمليات الحيوية و التغييرات الخلوية في هذا الطور تكون مماثلة لما يحدث في الانقسام الخيطي. بحيث ينتج في نهاية هذا الانقسام أربعة خلايا بنات أحادية الصيغة الصبغية.

#### - Meiosis II

Meiosis II includes four phases: prophase II, metaphase II, anaphase II, and telophase II.

The events in the division sequence of meiosis II are the same as those that occur in mitosis.

At the end of meiosis four haploid daughter cells are resulted.

#### 1- الطور التحضيري الثاني: Prophase II:

أهم ما يحدث خلال هذا الطور هو تكثف و تحلزن الخيوط الكروماتينية لتبدأ بنية الصبغيات بالظهور، تشكل ألياف مغزل الانقسام، و بداية تحرب الغشاء النووي وتختفي النوية.

Chromosomes condense, Spindle and spindle fibres, Nuclear membrane and nucleolus disassemble.

### 2- الطور الاستوائي الثاني (metaphase II):

تكون الصبغيات في هذه المرحلة بأعلى درجات التكثف والثن، بحيث ترتبط الصبغيات بجزئها المركزي مع خيوط مغزل الانقسام عن طريق معقد بروتيني يدعى (kinetochore).

The chromosomes are at their most tightly coiled, are attached to spindle fibres and move along the spindle fibres until all their centromeres align along the equatorial plane of the cell.

### 3- طور الانفصال أو الهجرة الثاني (anaphase II):

إنّ عملية شد ألياف مغزل الانقسام للصبغيات تؤدي إلى فصل الصبغيين الشقيقين ليعطي كل منهما صبغي يهاجر إلى قطب معاكس للصبغي الآخر.

Sister chromatids move toward opposite poles of the cell. And these chromatids become known as separate daughter chromosomes.

### 4- الطور النهائي الثاني (telophase II):

تنفكّ خيوط مغزل الانقسام في هذه المرحلة، وينفكّ تحلزن الصبغيات لتعود الخيوط الكروماتينية إلى الظهور وتعود النويات والغشاء النووي للتشكل. ويتم انقسام السيتوبلازما وعضياتها المختلفة لتنتج أربع خلايا، بحيث تحمل كل منها نصف عدد صبغيات الخلية الأم.

Spindle fibres disassemble, Chromosomes uncoil, Nuclear membrane reforms, Nucleoli reappear. Cytoplasm and its organelles divided and produce four haploid cells each cell has half chromosomes of mother cell.