الفصل الخامس

انقسامات الخلية

انقسام الخلية

Cell Division

من أهم خواص المادة البروتوبلازمية فى الخلية هى قدرة على التضاعف والانقسام وتكوين خلية مشابه تماما لها وتسمى هذه العملية بعملية انقسام الخلية وأول من درس انقسام الخلية هو العالم الألمانى وترفلمنج سنة ١٨٨٠.

وينمو الكائن الحى بواسطة نمو الخلايا وانقسامها وتكاثرها فى الحيوانات ذات الخلية الواحدة تنقسم الخلية لتعطى الحيوان.

أما فى الكائنات الراقية عديدة الخلايا فانها تنشأ فى الأصل من خلية مخصبه تسمى الزيجوت Zygote تنتج من اتحاد الحيوان المنوى والبويضة. وبواسطة هذا الزيجوت يتكون الجنين وعملية أنقسام الخلية يسبقها دائما أنقسام النواة.

ويحدث انقسام الخلية بثلاث طرق وهى كالآتى:

(١) أنقسام مباشر Amitosis
(٢) انقسام غير مباشر Mitosis
(٣) انقسام اختزالى Meiosis

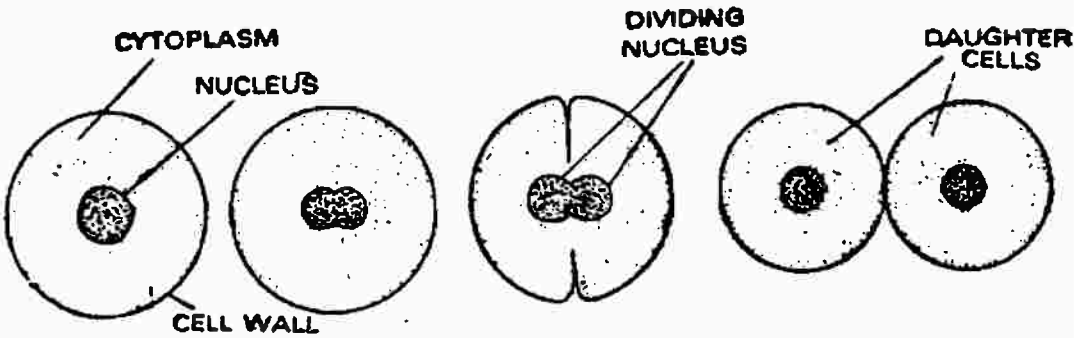
(١) الانقسام المباشر Amitosis

يتم بطريقة بسيطة وسريعة ويحدث فى الحيوانات ذات الخلية الواحدة مثل prokaryotes فى البكتريا والأوليات protozoa وهذا النوع من الانقسام يسمى بالتكاثر اللاجنسى Asexual reproduction ويتم هذا الأنقسام كما يأتى:

١- تستطيل النواة ثم تختنق من الوسط ويزداد هذا الأختناق تدريجيا حتى تنقسم النواة إلى قسمين متساويين تقريبا.

٢- بعد ذلك بقليل يظهر اختناق آخر فى السيتوبلازم المحيط بالنواة ويزداد تدريجيا إلى أن تنقسم الخلية الأصلية (الأم) إلى قسمين متساويين تقريبا وكل منهما يحتوى على نواة واحدة كما فى شكل (٥-١).

٣- وفى بعض الأحيان يتم انقسام النواة دون أن يتبعه انقسام فى السيتوبلازم فينتج عن ذلك خلية عديدة النويه تعرف بالمدمج الخلوىSyncitium.



Stages in amitosis.

شكل رقم (٥-١)

(٢) الانقسام الغير مباشر Mitosis

يحدث هذا الأنقسام فى الخلايا الجسميه Somatic cells وهو ضروريا للنمو والتجديد بواسطة تضاعف المادة الوراثية وتكوين الخلايا البنوية Daughter cells والتى تحتوى على العدد الأصلى من الكروموسومات الموجودة فى الخلية الأم وبها نفس الصفات سواء كميا أو كيفيا كما فى شكل (٥-٢).. وهذا الانقسام هو الطريقة الشائعة بين الخلايا الحيوانية والنباتية ويتم ذلك فى معظم الحيوانات الراقية Eukaryotic وهناك طريقتين لهذا الانقسام هما:

(أ) انقسام النواة Karyokinesis

(ب) انقسام السيتوبلازم Cytokinesis

وتوصف الخلية قبل أن تبدأ فى الانقسام بأنها فى طور السكون Resting stage أو interphase ويتميز هذا الطور بعدم وضوح شخصية الكروموسومات (الصبغيات) ثم تمر النواة بعدة مراحل للانقسام.

(أ) انقسام النواة (Nuclear division or karyokinesis)

ويتم الأنقسام النووى بعدة مراحل هى كالتالى:

أولا: المرحلة التحضيرية أو البدائية: Interphase

- توصف الخلية قبل أن تبدأ فى الأنقسام بأنها فى طور السكون Resting stage أو Inter phase ويتميز هذا الطور بعدم وضوح شخصية الكروموسومات (الصبغيات). وفي هذه المرحلة بالرغم أن الخلية تمر في حالة سكون ولكن داخليا تكون في حالة فسيولوجية نشطة

- هذه المرحلة هى أطول مرحلة فى عملية الانقسام الغير مباشر وقد تستغرق يوم أو اثنين لتنتهى.
- تشمل هذه المرحلة ثلاث تحت sub-phases مرحلة هى كالتالى:

(١) مرحلة ج١ G_1 phase

(٢) مرحلة س S phase

(٣) مرحلة ج٢ G_2 phase

وهذه المراحل هى مراحل Mitotic cycle دورة الخلية فى الانقسام الغير مباشر.

(١) مرحلة ج١ G_1 phase

- هى مرحلة سكون صغيرة.

- ولكن تشمل تخليق وتنظيم الأنزيمات المساعدة والبديلة الضرورية لتخليق المادة دن أ (DNA) المادة الوراثية.

- وهذه المرحلة تتميز بواسطة التناسخ لمادة Transcription of rRNA/tRNA TRMA, mRNA and synthesis of different types of proteins

وهو تناسخ المادة الوراثية ريبوزونيكلك اسد (الناقلة TRNA والرسول mRNA الريبوسومول rRNA وتخليق الانواع المختلفة من البروتينات).

(٢) مرحلة S phase

وهى مرحلة التخليق النووى حيث يحدث تناسخ وتضاعف المادة الوراثية DNA (الكروموسومات) وتكوين الهستونات الخاصة بتكوين فى هذه المرحلة وبذلك تعتبر هذه المرحلة بمرحلة تكوين الكروموسومات وتضاعف المادة الوراثية وتناسخها (DNA).

(٣) مرحلة G_2 phase

وهى مرحلة مابعد تكوين مادة DNA أو تخليقها وتتميز بأن جميع العمليات أو النشاطات الحيوية التى تشمل النمو وتكوين العينات والجزيئات الكبيرة فى السيتوبلازم قد تمت.

- وبذلك تتمثل المرحلة التمهيدية Interphase كالتالى:

- الغشاء أو الغطاء النووى يظل موجودا The nuclear envelope remains intact
- توجد الكروموسومات (الصبغيات) منتشرة طويلة حلزونية وغير واضحة.
- تضاعف المادة الوراثية DNA نتيجة تضاعف أو تراكم مادة الريبوسومات rRNA والبروتينات الريبوسومية فى النواة.

ثانيا: مرحلة غير مباشرة Mitotic phase

وتلى المرحلة التمهيدية مرحلة أخرى هى **M phase** والتى تسمى Mitotic والتى تلى مرحلة G_2 phase **وتنقسم هذه المرحلة إلى عدة مراحل وهى:**

(١) المرحلة التحضيرية Prophase

(٢) المرحلة الانتقالية أو الاستوائية Metaphose

(٣) المرحلة الانفصالية Anaphase

(٤) المرحلة النهائية Telophase

(١) المرحلة التحضيرية Prophase

تعتبر هذه المرحلة هى اولى فى مرحة الانقسام الغير مباشر (M phase) وتتميز هذه المرحلة بالتالى:

- تكثيف المادة الكروماتينية واختفاء النوية وتكسير الغشاء النووى.
- ينقسم الجسم المركزى Centrosome إلى قسمين يسمى Centrioles يتحرك كل من الجسمان المركزيان نحو قطبى الخلية ويظهر حولهما أشعة سيتوبلازمية ويسمى كل منهما بالنجم Aster.
- تتضح شخصية الكروموسومات (الصبغيات) داخل النواة ويظهر كل كروموسوم كأنه خيط مزدوج يتكون من خيطين متجاورين طوليا ويسمى بالكروماتيدات chromatides ويكونان متجاورين وملتصقين باتحاد بواسطة قطعة مركزية تسمى centromere وفى نهاية المرحلة التحضيرية تشاهد الكروموسومات تقصر وتتغلظ وتزداد فى السمك والحجم.
- وفى نهاية هذه المرحلة يختفى الغشاء النووى وتظهر خيوط المغزل وقد تقسم المرحلة التحضيرية هذه إلى ثلاث مراحل :-

Early prophase, Middle prophase, late prophase

مرحلة تحضيرية مبكرة ومتوسطة ونهائية أو متأخرة وهذه المراحل هى الخطوات المختلفة السابقة وهى قصيرة جدا لاتكاد أن تلاحظ وبذلك تعتبر هذه المرحلة مرحلة واحدة .

(٢) المرحلة الأستوائية Metaphase

تتميز باضمحلال الغشاء النووى وخروج الكروموسومات إلى السيتوبلازم وهى مرحلة قصيرة وتتميز بأن الكروموسومات تنظم نفسها فى منتصف المغزل مكونة شكل متناسق ومتماثل ويتعلق

الكروموسوم بخيوط المغزل بتنظيم معين يسمى الصفيحة الاستوائية Equatorial plate عن طريق غزو أو انتشار الانيبيبات الصغيرة Microtubules بين القطبين والتصاقهما بالكروموسومات عن طريق الكونيتوكوريا الموجودة فى

السنترومير حيث أن كل سنترومير يتكون من عدد ٢ كينيتوكوريا ويحدث انقسام أو أنشقاق الكروموسوم اى اثنين كروماتيد متصلين ببعضهما بواسطة السنترومير.

(٣) المرحلة الأنفصالية: Anaphase

تتميز هذه المرحلة بانفصال الكروميتدات عن بعضهما حيث يأخذ كل كروماتيد كينيتوكوريا واحد حيث يحدث جذب للاشعة أو الخيوط أو الانبيبيات الصغيرة وانقباضها يشد الكروميتدات الاخويه Sister chromatid عن بعضهما البعض نحو القطبين وتأخذ شكل u أو v والقوى التى تؤدى إلى اتجاه الكروميتدات أو (الكروموسومات الشقيقة) إلى القطبين هى:

- قوة التنافر Force of repulsion بين القطبين
- طول الالياف المغزلية وامتدادها بين الكروميتدات.
- قوة جذب وشد الاشعة المغزلية إلى القطبين وانقباض الاشعة المغزلية يؤدى إلى جذب الكروميتدات إلى احدى القطبين.

(٤) المرحلة النهائية: Telophase

تبتعد الكروميتدات أو الكروموسومات الشقيقة الناتجه عن بعضها البعض بواسطة الانقباضات المستمرة من خيوط المغزل وقوى التنافر والتى سبق الاشارة اليها وتتحرك هذه الكروموسومات الشقيقة (كروميتدات حدث لها تضاعف لتكوين الكروموسومات الشقيقة) إلى القطبين.

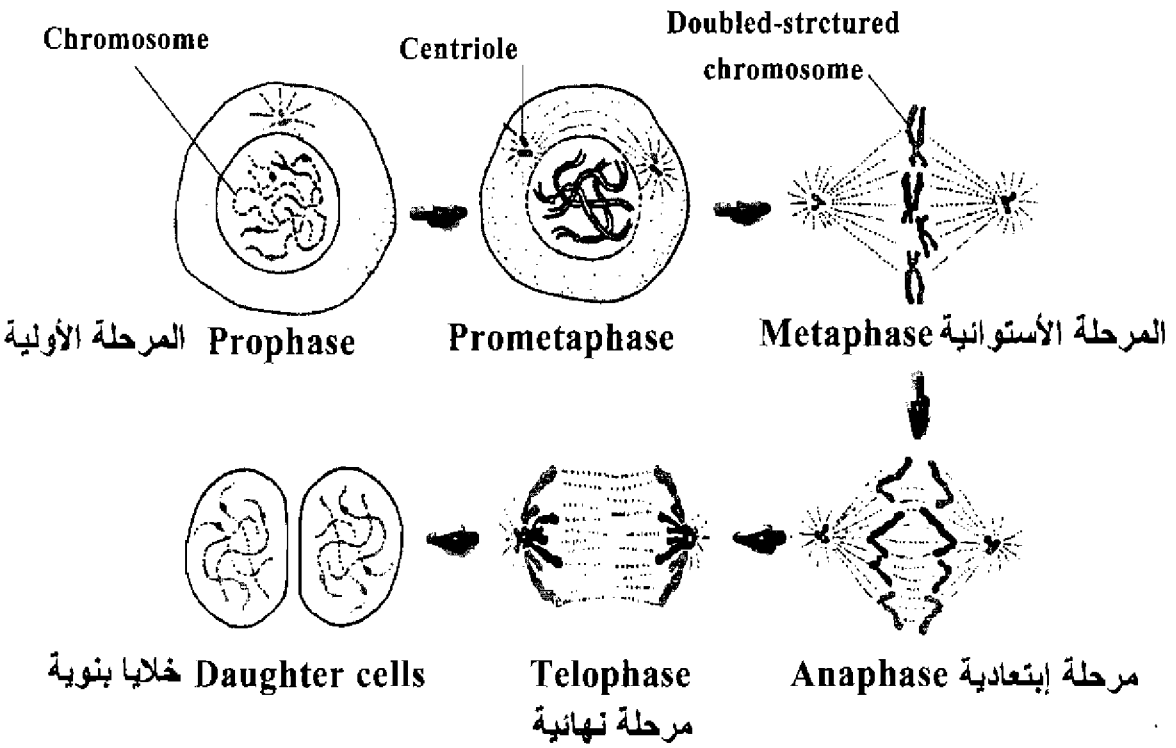
- عندما تصل الكروموسومات الشقيقة إلى القطبين تبدأ خيوط المغزل فى الاختفاء تدريجيا.
- يبدأ ظهور غشاء النواة حول الكروموسومات وتظهر النوية وتفقد الكروموسومات وضوحها وتنتقل الخلية الى طور السكون.
- تحتوى كل نواة على عدد من الكروموسومات مماثل للعدد الموجود بالخلية ام.

(ب) الانقسام السيتوبلازم: Cytokinesis

- يظهر تخصر وانقباض فى السيتوبلازم ويزداد هذا التخصر إلى أن يقسم الخلية الواحدة إلى خليتين تحتوى كل خلية على نواة وتحتوى كل نواة على عدد من الكروموسومات مماثل للعدد الموجود بالخلية الأم كما فى شكل (٥-٢)..
- وبذلك تتكون خليتين من خلية واحدة.
- تتم عملية الانقسام الغير مباشر فى فترة تتراوح بين نصف ساعة وثلاث ساعات حسب حالة الخلية الفسيولوجية ودرجة الحرارة وغيرها من العوامل البيئية.

CHROMOSOMES DURING MITOTIC DIVISION

الإنقســـــــام الغير مبـــــاشر



Schematic drawing of the various stages of the mitotic division. In the prophase the chromosomes are visible as slender threads. The doubled chromatids become clearly visible as individual units during the prometaphase. At no time during the division do the members of a chromosome pair unite. Blue - paternal chromosomes; red - maternal chromosomes.

شكل مراحل مختلفة للإنقسام الغير مبـــــاشر.

شكل رقم (٥-٢)

(٣) الانقسام الاختزالي Meiosis

- يحدث هذا الأنقسام فى الخلايا الجرثومية أو التناسلية Germ cells أثناء تكوين الجاميطات أو الأمشاج الذكرية والأنثية.
- فى هذا النوع من الانقسام يختزل عدد الكروموسومات الموجود فى الخلية الأصلية إلى النصف Haploid number.
- تنقسم فيه النواة مرتين متتاليتين بسرعة بينما الكروموسومات مره واحدة فقط فينتج عن ذلك أربعة أنويه بكل منهما نصف العدد من الكروموسومات كما فى شكل (٥-٣)..

ويشمل هذا الأنقسام مرحتين من الانقسام هما:
أولا: الانقسام الاختزالي الأول First Meiotic division
ثانيا: الانقسام الاختزالي الثانى Second Meiotic division

أولا: الانقسام الاختزالي الأول: First Meiotic division

ويتميز بأن الدور التحضيرى فيه طويل ويتكون من خمسة أطوار (مراحل) هى:
(١) الطور القشرى (الحبيبى) Leptotene
(٢) الطور التزاوجى Zygotene
(٣) الطور الصنام Pachytene
(٤) الطور الانفراجى Diplotene
(٥) الطور التشتى Diakinesis

(١) الطور القشرى (الحبيبى) Leptotene
حيث تتضح الكروموسومات وتظهر واضحة طويلة وعليها حبيبات صبغية تعرف باسم الكروميزات chromomers على طول الكروموسوم. وينقسم السنتروسوم إلى حبيبتين مركزيتين centrioles وتتحرك الحبيبتين المركزيتين من السنتروسوم نحو قطبى الخلية.

(٢) الطور التزاوجى Zygotene
تقترب الكروموسومات المتشابه بعضها من بعض فى أزواج متشابه فيما بينهما اثنين اثنين واحد من الأب وأخر من الأم وتتصل الكروموسومات ببعضها عند السنترومير دون اندماج وتكون هذه الظاهرة union or Synapsis.
وظاهرة الاتحاد Synapsis تتمثل فى ثلاث صور هى:
(١) من النهاية إلى السنترومير Proterminal synapsis
وهى تبدأ من النهاية وتمتد حتى تصل إلى السنترومير.
(٢) الاتحاد المركزى Procentric synapsis
ويبدأ اتحاد الكروموسومات المتشابه من المركز ويتجه نحو النهاية الكروموسومات.
(٣) اتحاد عشوائي Random synapsis
ويحدث هذا الاتحاد فى مناطق مختلفة من الكروموسومات المتشابهه.

(٣) الطور المضاعف: Pachytene

- تلتف الكروموسومات حول بعضها البعض وتتشابك عند اطرافها حيث يحدث تبادل المدة الكروماتينيه بينهما ويتبع ذلك نقل الصفات الوراثية من كل كروموسوم لآخر عند تقاطع هذه الكروموسومات وتعرف هذه الظاهرة بالتقاطع حيث chiasmata.
- تنفصل أجزاء من هذه الكروموسومات عن بعضها فى بعض النقط التى تعرف بالتقطاعات و هى تلعب دورا هاما فى نقل الصفات الوراثية.
- فى هذا الطور ينشق الكروموسوم طوليا إلى اثنين كروماتيد وعندئذ يكون كل كروموسوم مكونا جسما رباعيا وبذلك يعرف هذا الطور بالطور المضاعف.
- ينكسر الغشاء النووى تدريجيا وتتجه النقط المركزية نحو الاقطاب.

(٤) الطور التشتتى: Diakinesis

- تظهر الكروموسومات الثنائية أكثر وضوحا بعد ظاهرة العبور والتقاطع فهى تظهر قصيرة وغليظة وتبدأ التقاطعات فى البعد من منطقة السنترومير centromere إلى نهائيات الكروموسومات وتسمى النهائيات Terminalization.
- تظل الكروموسومات متصلة ببعضها البعض بواسطة نهائيات التقاطعات. وتلتصق نهاية الكروميتيدات فى نقطة أو أكثر.
- ينكسر ويتلاشى الغشاء النووى تماما وتخرج الكروموسومات فى وسط السيتوبلازم.
- تختفى النوية.

الدور الاستوائى الأول: Metaphase 1

- وهى مرحلة قصيرة وتتميز بأن الكروموسومات تنظم نفسها فى منتصف المغزل مكونه شكل متماثل يسمى الصفيحه الاستوائية Equatorial plate.
- يتميز هذا الطور للانقسام الميوزى بتكوين خيوط المغزل والذى تنتشر بين الكروميتيدات المتشابه مارة فى منطقة السنترومير إلى القطبين.
- يتجه كل سنترومير لأحد الكروموسومات إلى القطب المعاكس له.
- تزداد قوة التنافر بين الكروموسومات المتشابه وبذلك تكون على استعداد للانفصال.
- تترتب الكروموسومات المتشابه فى صفين على الصفيحة الاستوائية.

الطور الانفصالي الأول: **Anaphase I**

- تستمر كروموسومات كل وحده ثنائية متصله ببعضها البعض بواسطة تقاطعات طرفيه فى بداية هذا الطور.
- تنفصل هذه الكروموسومات نحو القطبين بحيث أن يكون نصف العدد الكروموسومى عند قطب والنصف الاخر عند القطب الأخر.
- يتجه سنترومير كل كروموسوم نحو القطب المعاكس له.
- يحدث انقباض لخيوط المغزل وقوة تنافر بين الكروموسومات المتشابه لتشد احدى الكروموسومات إلى قطب والكروموسومات الاخرى إلى القطب الأخر.

الطور النهائى الأول: **Telaphase I**

- يحدث اختفاء لخيوط المغزل.
- يتكون الغشاء النووى حول الكروموسومات المنفصله والنويه.
- بوصول العدد الفردى الكروموسومات الخلية الاصلية إلى أحد القطبين والنصف الاخر إلى القطب الاخر هو صفة من الطور النهائى الاول. وهى الانفصال الكروموسومى.
- يحدث تخصر فى السيتوبلازم cytokinasis وتكوين خليتين من خلية واحدة لكل واحده منها عدد فردى من الكروموسومات.

طور مابين الانقاسمين:
تعرف هذه الفترة بين الأنقسام الأول والانقسام الثانى بالفترة البينية وهى قصيرة أو معدومة حيث تدخل الخلية مباشرة فى الانقسام الميوزى الثاني.

الانقسام الأختزالى الثانى Second meiotic division

وهو يشابه تماما للانقسام الغير مباشر حيث تنقسم الخلية ذات الفردى من الكروموسومات إلى خليتين، كل واحده بها اعدد الفردى .Haploid No من الكروموسومات.

ويشمل هذا الأنقسام على عدة مراحل أو أطوار هى:

(١) الطور التمهيدى الثانى	Prophase II
(٢) الطور الاستوائى الثانى	Metaphase II
(٣) الطور الانفصالى الثانى	Anaphase II
(٤) الطور النهائى الثانى	Telophase II

(١) الطور التمهيدى الثانى: Prophase II

- ينقسم كل جسم مركزى centrosome فى كل خلية إلى نقطتين مركزيتين centrioles تتجه كل واحدة نحو القطب المعاكس.
- تتكون خيوط المغزل حول هذه النقطة المركزية.
- يختفي كل من الغشاء النووى والنويه.
- تظهر الكروموسومات بكروماتيدين وتكون قصيرة وسميكة.

الطور الاستوائى الثانى: Metaphse II

تترتب الكروموسومات فى منتصف خيوط المغزل بين القطبين بما يسمى بالصفيحه الاستوائية equatorial plate حيث ترتبط الكروموسومات فى وسط الصفيحه بخيوط المغزل.

- يبدأ السنترومير بالانقسام إلى جزئين ويحدث انقسام الكروموسوم اى اثنين كروماتيد أو كروموسومات الشقيقه Daughter chromosomes.
- ترتبط خيوط المغزل بالكروموسوم فى منطقة السنترومير.

الطور الانفصالى: Anaphase II

- تتجه الكروموسومات الشقيقة Daughter chromosomes نحو الاقطاب المعاكسه.
- وذلك للشد وجذب خيوط المغزل وقصر الكروموسوم.
- يكون عند كل قطب عدد فردى من الكروموسومات الشقيقة.

الطور النهائى: Telophase

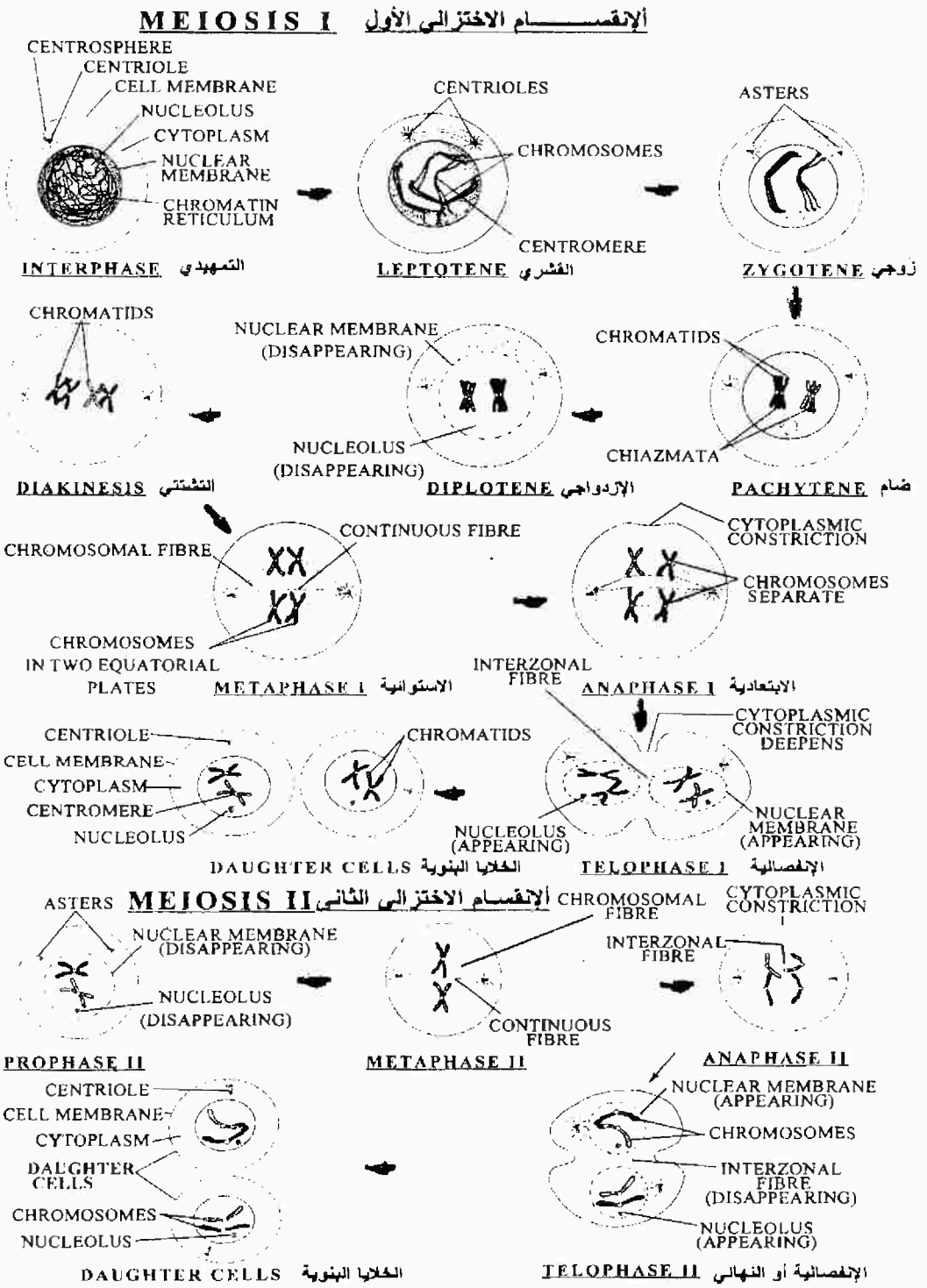
- الكروموتيدات أو الكروموسومات الشقيقة التى تهاجر إلى قطبى الخلية تعرف بالكروموسومات.
- يبدأ تكوين الغشاء النووى بواسطة Endoplasmic reticular E.R الأغشية البلازميه.

- يحدث عملية الانقسام السيتوبلازمى Cytokinesis وهو تحضير السيتوبلازم من كلا جانبى الخلية وتكوين خليتين تحتوى كل واحده منها على نواة بها العدد الفردى من الكروموسومات الموجود بالخلية الأم.
- تظهر النويه وتختفى الخيوط المغزلية وتظهر النقطة المركزية فى احدى قطبى الخلية كما فى شكل(٥-٣).

أهم مميزات الانقسام الاختزالى:

- أنه يؤدى إلى الحفاظ على العدد الكروموسومى ثابت فى الكائن الحى.
- بواسطة ظاهرة العبور والتقاطعات يؤدى إلى تبادل الجينات بين الكروموسومات محققا الاختلافات الوراثية خلال الأنواع الحيوانية أو النباتية.
- يؤدى إلى نقل الصفات الوراثية من جيل إلى آخر والحفاظ على هذه المادة الوراثية.
- ينتج أربعة خلايا حيوانية بكل واحدة نصف العدد الفردى الموجود بالخلية ام.
- ينقسم كل سنترومير إلى اثنين كينيتوكوريا يأخذ كل كروماتيد واحد كينيتوكوريا Kinetochore إلى أحد القطبين.

MECHANISM OF MEIOSIS ميكانيكية الإنقسام



شكل رقم (٥-٣)

المقارنه بين كل من الانقسام الاختزالى والغير مباشر

الرقم		الانقسام الغير مباشر	الانقسام الاختزالى
١	المكان	يحدث فى الخلايا الجسمية	يحدث فى الخلايا التناسلية مثل الخصية والمبيض
٢	المرحلة	تتم فى مرحلة واحدة	تتم في مرحلتين مرحلة أولى، ومرحلة ثانية
٣	الطور التمهيدى	قصير المدة وليس له أى تحت مرحلة	طويل ويتم فى خمسة مراحل: الطور القشرى (الحبيبى) - الطور التزاوجى - الطور الضام - الطور الانفراجى - الطور التشتتى
٤	التزاوج الكروموسومى	ليس هناك أى نوع من التزاوج	يوجد أو يحدث هذا التزاوج بين الكروموسومات المتشابه
٥	التصالب أو الصور	لايحدث	يحدث
٦	تبادل المادة الوراثية	لايحدث تبادل المادة الوراثية	يحدث تبادل المادة الوراثية عن طريق التصالب أو العبور يتكون من اربعة كروماتيد يتكون من صفين Tetrads
٧	الطور الاستوائى	يتكون من ثنائى الكروماتيد Dyads يتكون من صف واحد	الخلايا الناتجة تحتوى على نصف العدد الكروموسومى الموجود فى الخلية الأصلية أو الأم
٨	عدد الكروموسومات	الخلايا الناتجة تحتوى على نفس عدد الكروموسومات الموجودة فى الخلية الأم	تختوى على نصف العدد الكروموسومى
٩	الخلايا الناتجة	خليتين	أربعة خلايا
١٠	التوزيع الكروموسومى	انقسام كروموسومى فقط	انفصال كروموسومى في المرحلة الأولى وأنقسام كروموسومى فى المرحلة الثانية