الفصل السابع عشر

انقسام الخلية CELL DIVISION

أمكن لعلماء الحيوان والنبات من مشاهدة انقسام الخلية منذ القرن التاسع عشر . ويشتمل انقسام الخلية على انقسام النواة الذى يسبق انقسام السيتوبلازم . وقد ميز البيولوجيون نوعين من الإنقسام في الخلايا الجسيمية وهما الإنقسام المباشر والإنقسام غير المباشر ، وتعتمد نوعية الإنقسام تبعا لسلوك النواة .

الانقسام غير المباشر أو الميتوزى MITOSIS

الانقسام الميتوزى أو الكاريوكينيزس هو إنقسام النواة إلى نواتين مستقلتين . والانقسام الميتوزي - الذى يشار اليه احيانا بالإنقسام النووي غير المباشر - هو الإنقسام العام الذى يتم بطريقة منتظمة فى جميع الحيوانات والنباتات الحية . وهو عملية ديناميكية مستمرة ولكن للسهولة ولغرض الوصف والتعميم تقسم هذه العملية الى أربعة مراحل او اطوار هى : المرحلة التمهيدية والاستوائية والإنفصالية ثم المرحلة النهائية .

ولسهولة الوصف توضع مرحلة قبل الإستوائى بين المرحلة التمهيدية والمرحلة الإستوائية ويقسم كل من المرحلة التمهيدية والإنفصالية والنهائية كل إلى قسمين .

١ - المرحلة التمهيدية Prophase stage :

فى معظم أنوية الطور البينى يكون " ثبات " fixibility الكروموسومات صفر ، أى أنها غير ثابتة ، ولكن عند ابتداء الدور التمهيدى للإنقسام نجد أن الكروموسومات أصبحت لها قدر من " الثبات " حيث تظهر على شكل خيوط رقيقة داخل النواة . وتكون هذه الخيوط ملتفة حول بعضها وتصبغ صبغا خفيفا بالأصباغ النوويه المميزة . ويبدو الكروموسوم تحت القوة الكبرى للمجهر مكونا من سلسلة طولية من الجسيمات مختلفة ا[illegible] ، وهى الكروميرات chromomeres - التى تتصل ببعضها بخيط رقيق أخف صباغة منها ، والترتيب الطولى للكروموميرات فى كل كروموسوم ثابت وغير متغير . الكروميرات المتجاورة لها ميل للتجمع مع بعضها أثناء عملية التثبيت ولذلك فان حبيبة كبيرة واحدة هى التى ترى

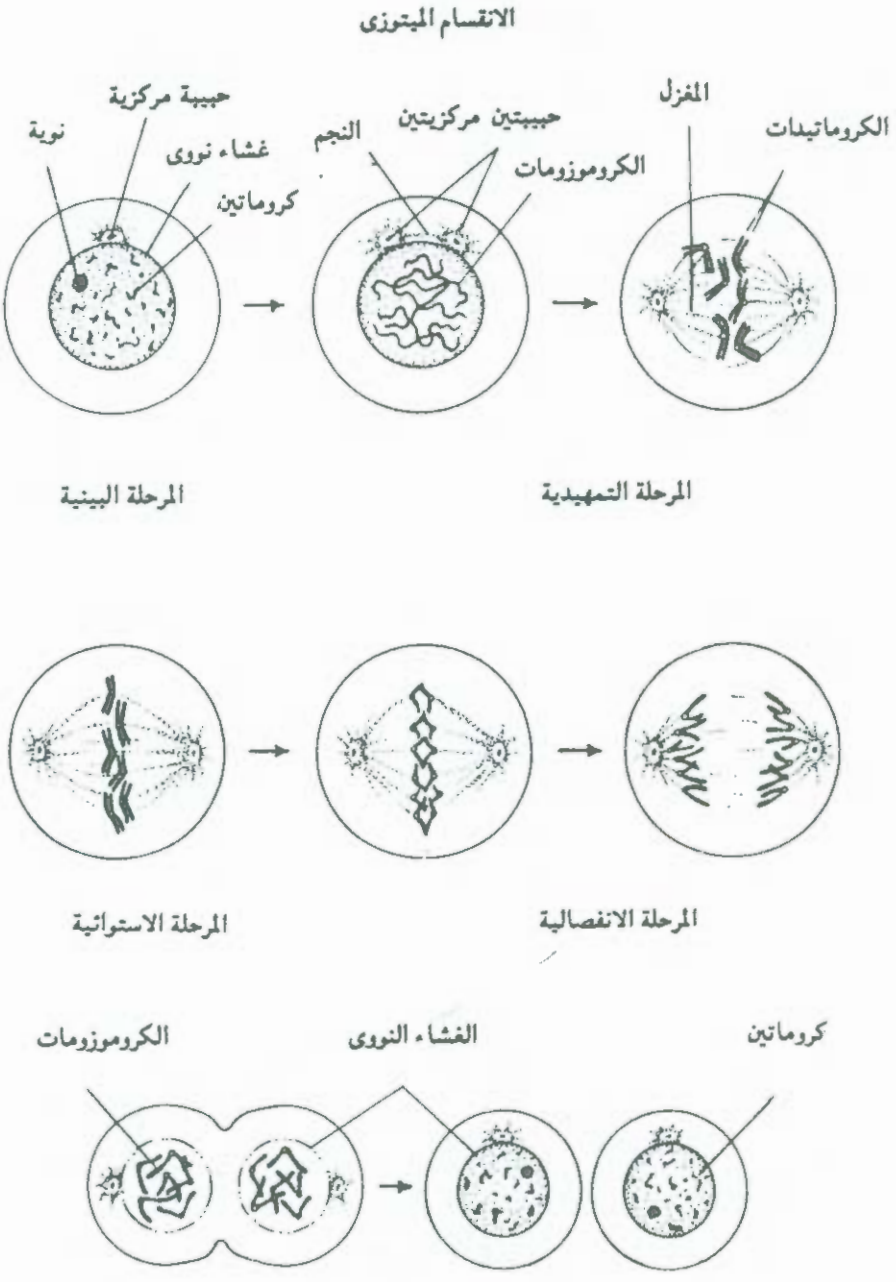
والتى ليست فى الحقيقة سرى عديد من الكروموميرات .وتزداد الكروموسومات فى الحجم زيادة ملحوظة مع تقدم المرحلة التمهيدية . وفى نفس الوقت فإنها تقصر ويزداد سمكها تدريجيا . وعلى ذلك فان ثلاث عمليات تشترك فى ظهور وإتمام المرحلة التمهيدية وهى : فقدان الماء والنمو والتكثيف أو الإنكماش (الإنقباض) .

ويبدو كل كروموسوم فى المرحلة التمهيدية منشقا طوليا ، أي أن كل كرموسوم يتكون من نصفين طوليين يعرف كل منهما بالكروماتيدة chromatidic أو الكروموسوم الابنة daughter chromosome وهذا يعنى ان الكرموسومات تبدو دائما مزدوجة منذ إبتداء المرحلة التمهيدية . وتكون الكروماتيدتان متلصقتين تماما على امتداد طول الكروموسومات . وكل k[kx مزدوج يوجد به جسم وحيد غير قابل للإتصاع يعرف بالسنترومر centromere أى (القطعة المركزية) ويبدو أن السنترومير يظل غير منقسم أثناء المرحلة التهيدية وانها تنقسم فقط فى المرحلةالإستوائية .

ويجب ملاحظة أن الكروموسومات تتواجد دائما منفصلة ومستقلة عن بعضها منذ المرحلة التمهيدية المبكرة جدا . ولهذا لا يوجد ما يسمى " الخلزون المستمر " spireme كما ذكر بعض علماء الخلية السابقين .

وخلال المرحلة التمهيدية تختفى عموما النويات وقد يحدث ذلك فى المرحلة البينية المتاخرة أو المرحلة التمهيدية المبكرة .

وعند ابتداء المرحلة التهيدية يلاحظ أن السنتريول " الحبيبية المركزية " centriole" تنقسم الى حبيبتين إن لم تكن قد انقسمت من قبل . وتهاجر الحبيبتان المركزيتان الجديدتان فى اتجاه اقطاب الخلية المتقابلة . وعندما تصلان الي القطبين المتقابلين نجد أن السيتوبلازم المحيط بكل منهما ينتظم في ليفات رقيقة تعرف " بالأشعة النجمية " astral rays التى تشع من كل حبيبة مركزية لتكون شكلا يشبه النجم ويعرف باسم " النجم " aster . وهذه الأشعة ما هى الا انيبيبات دقيقة يتراوح طول قطرها بين ١٤٠ إلي ٢٣٠ أنجستروم . وتمتد الأشعة النجمية بين الحبيبتين المركزيتين لتكون " المغزل " spindle الذى يمر وسط الخلية حيث تتواجد الكروموسومات عليه مبعثرة بغير نظام . وقد وجد نوع من المغزل يتكون بطريقة مختلفة عن السابقة وهو يعرف بالمغزل الاستوائى . ويلاحظ فى هذا النوع أن الحبيبات المركزية تهاجر



(شكل ١١٠)

شكل يوضح خطوات الانقسام الميتوزى

وتستقر فى الأقطاب المتقابلة ، قبل ابتداء عملية الإنقسام بحيث يتكون المغزل مؤخرا فى المرحلة الإستوائية .

وعملية الانقسام الميتوزى التى توجد بها الحبيبات المركزية والأشعة النجمية تعرف بالإنقسام " المتيوزى النجمى " astral mitosis أو النصف نجمى ، ولكن عندما تغيب الحبيبات المركزية فيعبر عنه بأنه انقسام " يميتوزى غير نجمى " non-astral mitosis . والنوع الاول هو السائد فى الحيوانات وفى بعض النباتات البدائية ، أما الآخر فيسود فى النباتات العليا وبعض اللافقاريات .

وتتلاشى النوية والغشاء النووى فجأة فى نهاية المرحلة التمهيدية وتعرف الفترة بين اختفاء أو اضمحلال الغشاء النووى وتكون المغزل الكامل بالمرحلة " قبل الاستوائية " pre-metaphase .

٢ - **المرحلة الإستوائية** Metaphase stage :

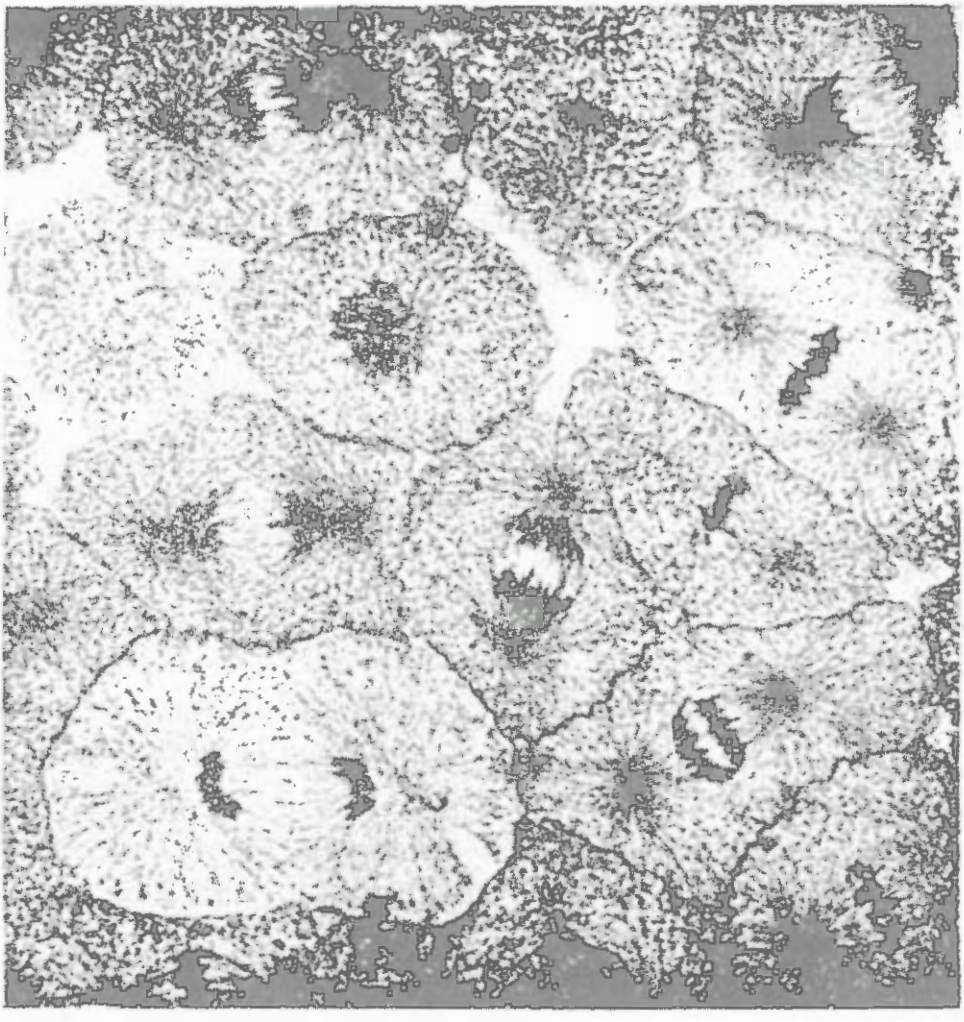
فيها تنتظم الكروموسومات فى منتصف المغزل وتعرف هذه المنطقة " بالصفيحة الاستوائية " equatorial plate وقد تتخلل الكروموسومات المغزل أو تنظم فى دائرة حول الخط الاستوائى . ويجب ملاحظة أن الكرموسومات فى هذه المرحلة تكون مزدوجة ومواجهة للصفيحة الاستوائية بحيث ترتبط الكرموسومات بالليفات المغزلية بواسطة السنترومير .

٣ - **المرحلة الانفصالية** Anaphase stage :

فى أثناء هذه المرحلة ينشق السنترومير الذى يربط كل كروماتيدتين ببعضهما ثم تنفصل الكرماتيدات - التى يجب أن يطلق عليها كرموسومات - ويتحرك كل منهما الى احد قطبى المغزل المقابل له . وكأنها تجذب بعيدا عن بعضها . وفى المرحلة الانفصالية المتأخرة تستطيل منطقة المغزل لكي تحمل الكرموسومات بعيدا عن الموقع الأصلى من قطبى المغزل . وحيث ان حركة الكروموسومات تبتدئ من السنترومير أى منطقة الاتصال فان الحركة تبدو وكأنها ترجع الى قوة التنافر التى تنشأ عند نقطة الاتصال (رأى بعض العلماء) بينما يرى البعض الآخر من العلماء إن حركة الكروموسومات ربما ترجع الى انقباض لييفات المغزل (الليفات الكروموسومية) .

٤ - المرحلة النهائية telophase stage :

هذه هى المرحلة النهائية لانقسام الخلية والتي تبدأ عندما تصل كل مجموعة كروموسومية إلى القطب المقابل وتأخذ هذه السكروموسومات مرة ثانية فى تكوين النوية .



(شكل ١١١)
صورة ميكروسكوبية للانقسام الميتوزى

وعادة تمر هذه المرحلة خلال أطوار عكسية لأطوار المرحلة التمهيدية . وبذلك يظهر غشاء النواة والنوية وتكتسب النواة مميزات النواة البينية . ويجب ملاحظة أن النوية تظهر مرة ثانية في مناطق " المنظمات النووية " nucleolar zones اى المناطق التى تتكون فيها النويات الى الكروموسومات المعنية . ويعتقد الآن أن الكروموسومات تتواجد وتستمر خلال الطور البيني للنواة وبمفهوم آخر فإن الكروموسومات تحتفظ بكيانها وفرديتها من إنقسام إلى إنقسام .

وفي هذه الأثناء يظهر حز اختناق حول المنطقة الاستوائية للخلية ويستمر هذا الحز فى التقدم إلى الداخل حتى يقسم الخلية إلى خليتين شقيقتين daughter cells ، كل منهما نسخة طبق الأصل من الخلية الأصلية (الأم) . ولا يكون الاختلاف إلا فى الحجم فقط . ويعرف انقسام السيتوبلازم بالسيتوكينيزس cytokinesis ، ويحدث على طول المستوى الذى يمر خلال الخط الاستوائى (النصف) للمغزل عموديا على المحور الطولى للمغزل .

وتتراوح الفترة التى تستغرقها الدورة الميتوزية بين ١٠ دقائق إلى عدة ساعات ويعتمد ذلك على نوع الخلية وحالتها الوظيفية ، وكذلك على بعض العوامل الخارجية .

تعليق على الإنقسام الميتوزى Comment on mitosis :

ينتج عن الانقسام اليتوزى إنقسام كل كرموسوم إلى شطرين متساويين ومتشابهين . وحيث أن الكرموسوم هو الذى يحمل المعلومات الوراثية فان كلا من النسخ الناتجة ستحمل نفس الجينات . ويتوقف الانقسام الميتوزى أيضا على حالة الخلايا ، فيكون نشطا أثناء النمو الجنينى وعند التئام الجروح وعند تكون الأورام الخبيثة ... الخ . ويلاحظ ان الفترة التى تتم فيها عملية الانقسام الميتوزى تكون ثابتة للنوع الواحد ، فالخلايا أى أنها تختلف من نوع من الخلايا عنها فى نوع آخر . ولنضرب لذلك مثلا ؛ ففى خلايا ذبابة الفاكهة تتم عملية الإنقسام الميتوزى فى تسع دقائق بينما تبلغ هذه الفترة ١٠٠- ٢٠٠ دقيقة فى خلايا أفراخ الدجاج .

كما تختلف الخلايا الجسمية للأفراد التامة النضج فى مقدرتها على الإنقسام ، لهذا تقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية حسب هذه القدرة .

١ - خلايا تنقسم باستمرار طوال فترة حياة الكائن الحى مثل طبقة ملبيجى فى الجلد .

٢ - خلايا تتوقف عن الإنقسام عند اكتمال النمو مثل خلايا الكبد ولكن تحت بعض الاحوال والظروف (مثل استئصال جزء من الكبد او جرح الكبد) تستعيد القدرة على الإنقسام .

٣ - خلايا تبدو أنها فقدت تماما القدرة على الانقسام الخلوى وأن هذه المقدرة لا تستعاد تحت أى من الظروف كما فى حالة الخلايا العصبية .

الإنقسام المباشر (اللاميتوزي) AMITOSIS

الإنقسام اللاميتوزى أو الإنقسام النووى المباشر هو الإنقسام الذى يحدث بكثرة في الحيوانات الأولية ولكنه قد يحدث نادرا فى الحيوانات عديدة الخلايا كمافى بعض الحالات المرضية . فى هذا الانقسام تستطيل النواة ويتخصر وسطها إلى أن ينفصل النصفان ويبتعدان عن بعضهما البعض . ويحدث انقسام النواة بدون ان يختفى الغشاء النووى ويبدو أنه تحدث تفصيلات تنظيمية للمادة الكروماتينية ثم يحدث بالتالى اختناق فى منتصف السيتوبلازم بين النواتين مؤديا الى خليتين شقيقتين تشبهان الخلية الأصلية فيما عدا الحجم .

الانقسام الميوزى MEIOSIS

تحتوى الخلايا الجسمية للحيوان على عدد ثابت ومعين من الكروموسومات يعرف " بالعدد المزدوج أو المجموعة الزوجية (٢ ن) diploid sit بينما تحتوى الخلية الجرثومية لنفس الحيوان على نصف العدد أى " عدد أحادى " أو مجموعة فردية (ن) haploid set ، ويرجع السبب فى ذلك الى أنه عندما يتحد الحيوان المنوى بالبويضة يحدث الإخصاب وفيه يستبعد الزيجوت العدد الثابت من الكروموسومات الذى يميز هذا النوع .

هذا النوع من الانقسام الخلوى الذى يختزل منه عدد الكروموسومات الجسيمة أو العدد المزدوج (٢ ن) إلى العدد الأحادى (ن) يعرف " بالإنقسام الميزى " أو " الانقسام الاختزالى " reduction divisions . ويحدث الإنقسام الميوزى فقط فى الخلايا الجرثومية وهو يعتبر انقسامين متتاليين . ويتم اثناء هذين الانقسامين أن تنقسم الكروموسومات مرة واحد فقط بينما تنقسم النواة مرتين ، ويطلق على هذين الإنقسامين " الإنقسام الميوزى الأول " first meiotic division " والإنقسام الميوزى الثانى " second meiotic division ويفصل بينهما طور بينى قصير جدا . وفى بعض الكائنات الحية ينعدم هذا الطور البينى.

الإنقسام الميوزى الأول First meiotic division :

المرحلة التمهيدية الأولى First prophase stage: تتميزالمرحلة التمهيدية للإنقسام الميوزى الأول بتعقيداتها وطولها . ولهذا فإنه من المريح أن تقسم إلى أطوار عديدة وترتب تبعا لحدوثها وهى تعرف بالطور قبل القلادى والقلادى والتزاوجى والتضام والتشتتى . ويتبع المرحلة التهيدية المرحلـــة الإستوائية ثم الإنقاصلية ثم النهائيـــة ثم يتبـــع هذا الإنقسام الميوزى الثانى .

الطور قبل القلادى Leptotene stage (Leptonema) :

وهو الطور المبكر للمرحلة التمهيدية للإنقسام الميوزى الأول وتتميز هذه المرحلة بقصر فترتها وهى تقابل الطور المبكر فى الإنقسام الميتوزى . وفى هذا الطور تبدو الكروموسومات رقيقة جدا حتى أنه يصعب توضيحها .

الطور القلادى Leptotene stage :

فى هذا الطور تبدو الكرموسومات أكثر وضوحا وتكون على هيئة خيوط طويلة رفيعة تتساوى فى عددها مع عدد الكروموسومات فى الخلايا الجسمية . ويعتقد بعض العلماء بأن هذه الكرموسومات لا تتقسم طوليا أى أن لكل كرموسوم يتكون من كروماتيده واحدة لا من كروماتيدتين . واذا كان هذا الرأى صحيحا فان ذلك سوف يكون فارقا هاما بين كرموسومات الطور القلادى وكروموسومات المرحلة التمهيدية المبكرة للانقسام الميتوزى . ويعتبر فريق آخر من العلماء أن الكروموسومات ينشطر كل منها إلى كروماتيدتين يتم قبل الطور القلادى . كما يوجد خلاف آخر وهو ان الكروميرات أكثر وضوحا عنها فى حالة الإنقسام الميتوزى .

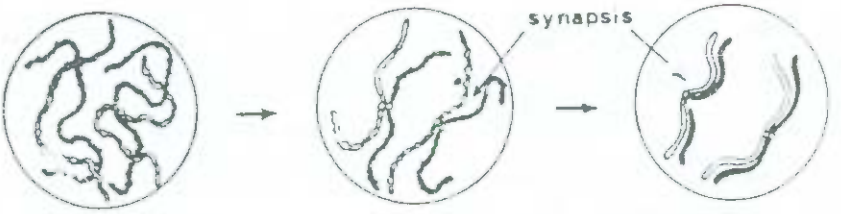
وقد تتواجد الكروموسومات بدون ترتيب منتظم داخل النواة أو قد تتجمع موجهة أحد أو كلا طرفيها إلى ناحية واحدة مكونة ما يسمى " بالباقة " bouquet . ففى النوع الذى تتواجد فيه الكروموسومات متجمعة نجد أن الكروموسومات تحتفظ بترتيبها فى المرحلة النهائية السابقة أى ان جميع السنتروميرات (القطع المركزية) تتجه إلى ناحية واحدة للنواة وتترتب الكروموسومات كما لو كانت حزمة زهور .

الطور التزاوجى Zygotene stage (Zygonema) :

يلى الطور القلادى طور آخر يعرف بالطور التزاوجى الذى يتم خلاله ازدواج الكرموسومات المتماثلة وهذا يعنى أن كل زوج من الكروموسومات المتماثلة تنتظم جنبا الى جنب وبهذا تنحو الكرموسومات نحو الترتيب فى أزواج الذى يشار اليه دائما " بالتشابك " بالرغم من أن هذا الاصطلاح بدأ يبطل استخدامه ، ويختلف ترتيب الكرموسومات أثناء عملية الإزدواج فحينما تكون الكروموسومات متجمعة " مستقطبة " polarized فإن الإزدواج يبدأ عند السنترومير ثم يمتد علي طول الكرموسومات ولكن عندما تكون الكروموسومات غير مرتبة " غير مستقطبة " non-polarized فإن الإزدواج يتم عند اية نقطة على الكروموسوم . وعندما يتم الازدواج فإن الكروموسومات تبدأ فى القصر والتغلظ . ويجب ملاحظة أن ازدواج الكرموسومات ليس مجرد ازدواج بين كرموسومين متماثلين فقط ولكن بين الكروموميرات المتماثلة على الكرموسومين . ويمكن مشاهدة هذا فى الكروموسومات التى يوجد بها الكرموميرات واضحة لأن أحجام الكروموميرات تختلف اختلافا طفيفا فيما بينها . ويمكن ايضاح إزدواج الكرموسومات وذلك بمراقبة سلوك المناطق المنقلبة حيث يحدث أن يعكس جزء من الكرموسوم . فإذا افترضنا دلالات للكروموميرات على أحد هذه الكروموسومات المتماثلة a, b, c, d, e, f... والكروموميرات على الكروموسوم المناظر a', b', c', d', e', f' فإنه يحدث أن يزدوج a مع a' ، b مع b' .. وهكذا . فإذا كان هناك منطقة قصيرة وحدث انقلاب فى احد هذين الكروموسومين المتماثلين ولم يحدث انقلاب فى قطره الاخر ، فجدان المنطقة المنقلبة ستبقى غير مزدوجة وتكون إنثناء فى المنتصف .

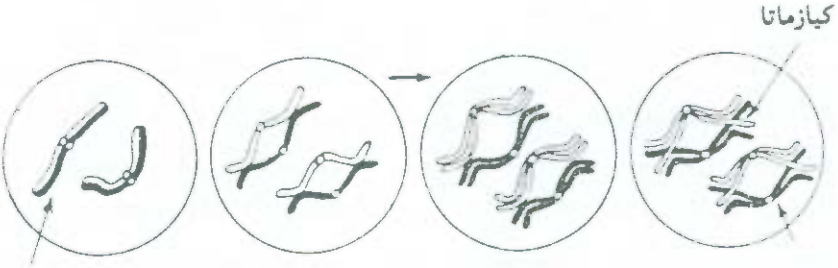
ولكن إذا كانت المنطقة المنقلبة أطول نجد أن الانثناء سوف تلتوى دائريا لكى تزدوج الكروميرات المتناظرة. أما اذا فقدت منطقة قصيرة تماما من الكرموسوم فإن المنطقة المقابلة فى الكروموسوم المناظر (المماثل) ستكون انثناء غير مزدوجة ويبدو أن عملية الإزدواج تنتج من قوة الجذاب بين الكروموميرات (الجنيات) المتماثلة ويكون هذا الانجذاب نوعيا . ويبدو انه يقوم بدوره خلال مسافات معينة حيث أن بعض الكرموسومات المزدوجة فى الطور التزاوجي تظهر عند الأقطاب المتقابلة خلال الطور القلادى . وهناك احتمال أن قوة الإزدواج تتطابق مع القوة التى تحفظ الكروماتيديتين بعضهما مع بعض على طول امتداد الكرموسوم أثناء المرحلة التمهيدية للإنقسام الميتوزى .

(شكل ١١٢) شكل يوضح خطوات الانقسام الميوزى



الطور القلادى (ليبتوتين)

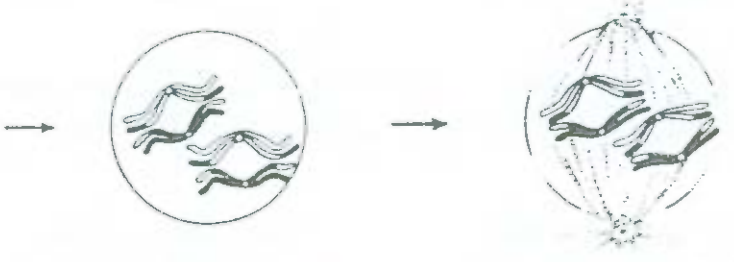
الطور التزاوجى (زيجوتين)



مجموعة ثنائية

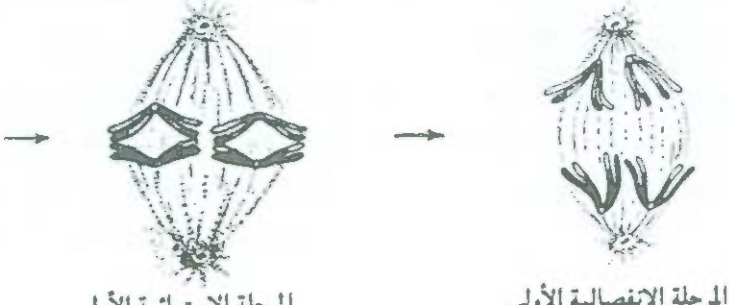
الطور الضام (باشيتين)

مجموعة رباعية



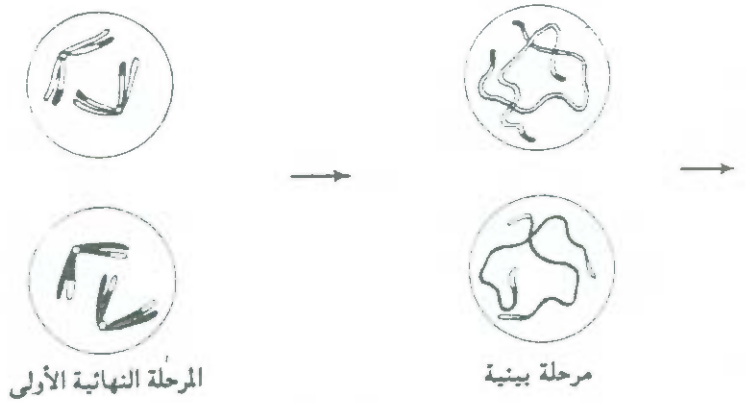
الطور الانفراجى (دبلوتين)

الطور التشتتى (دياكينيزيس)



المرحلة الاستوائية الأولى

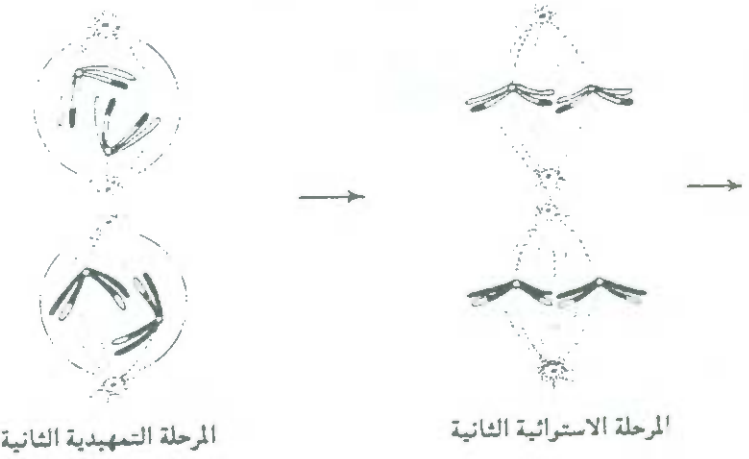
المرحلة الانفصالية الأولى



مرحلة بينية

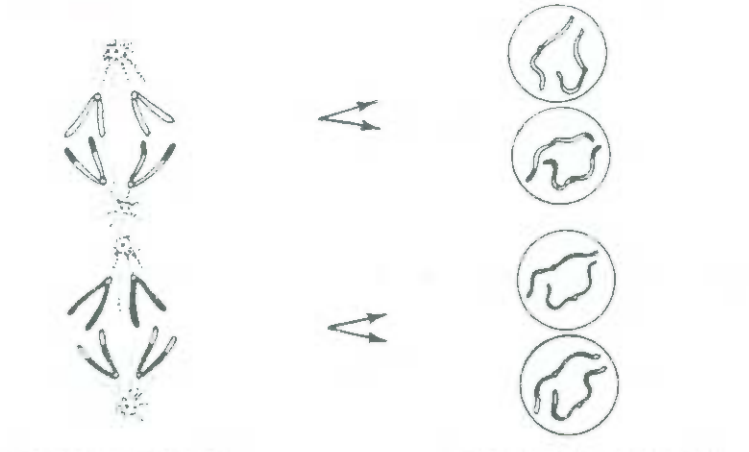
المرحلة النهائية الأولى

نهاية الانقسام الميوزى الأول



المرحلة الاستوائية الثانية

المرحلة التمهيدية الثانية

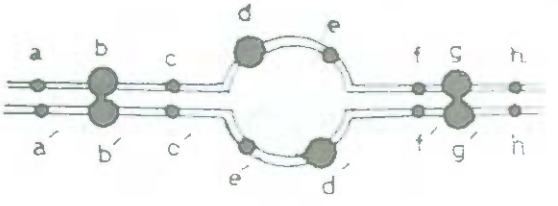


المرحلة النهائية الثانية والاخيرة

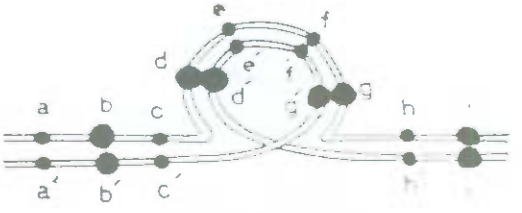
المرحلة الانفصالية الثانية

الطور الضام Pachytene stage (pachynema) :

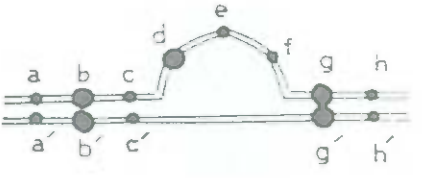
عندما يتم ازدواج الكروموسومات يقال أن النواة أصبحت فى الطور الضام وتصبح الكروموسومات أقصر وأغلظ . ونتيجة لهذا الازدواج فإن العدد الظاهرى لهذه الكروموسومات يختزل الى نصف عددها .إلا أن هذا الاختزال ما هو إلا إختـــزال ظاهرى فقـــط حيث أن كل (خيط) يكون مزدوجا أو ثنائيا bivalent or diads "أو وحدة كرومومسومية ثنائية " وكل وحدة كروموسومية ثنائية تقابل كروموسوم من كروموسومات الإنقسام المتيوزى العادى الذى يتكون فى منتصف المرحلة التمهيدية . ويجب ملاحظة أن الوحدة الكروموسومية الثنائية تتكون عن طريق ازدواج كروموسومين كاملين بدلا من انشطار كروموسوم واحد كما فى حالة



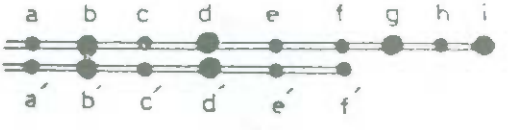
أ (منقلبان)
الكروموسومان منبعجان للخارج



ب الكروموســـومان منبعجـان للخارج



جـ - إنقلاب أحد الكروموسومين وفقدان قطعة منهما



د - فـقـــدان قطعـة مـــن الكروموسومات

شكل (١١٣)
شكل يوضح ازدواج الكروموسومات

الإنقسام الميتوزى . وهناك اختلاف هام آخر وهو أن كل من ثنائيات الطور الضام بها سنترويران يكون ملتصقين ببعضهماالبعض بينما كروموسوم المرحلة التمهيدية للإنقسام المتيوزى له سنترومیرة واحدة فقط .

ويحدث فى منتصف الطور الضام تقريبا انشقاق طولى فى كل كرموسوم نظير فى مستوى عمود على مستوى الإزدواج ، ونتيجة لهذا أن كل وحدة كروموسومية ثنائية تتكون من أربعة كروماتيدات ولهذا كان يطلق عليها سابقا " بالرباعيات " tetrads ويطلق علي كروماتيد في كل نظير " بالأبناء الكروماتيدية " daughter chromatds .

ويمكن تقسيم الطور الضام الى طور " ذو الشريطين " diads (قبل أن تنشطر الكروموسومات) وإلى طور " ذو الاربعة اشرطة " tetrads (بعد انشطار الكرموسومات) . وعند ابتداء الطور الضام يمتد كل خيطين بالتوازى لبعضها البعض ثم يبدءان فى الإلتفاف حول بعضهما البعض ولذلك فإنه عندما يحدث الانشطار تنتج أربعة خيوط ، اثنان منها يلتفان حول الإثنين الآخرين . وعندما يحدث الانشطار الطولى للكروموسوم قد تتكسر الكروماتيدات " الداخلية المتناظرة" homologous chromatids فى نفس المستوى العرضى ثم يحدث تبادل بين قطع الكروماتيدات بينما لا تحدث عملية التبادل هذه بين الأبناء الكروماتيدية ويعرف هذا بالعبور crossing over ولهذا فإن الكروماتيديتين الخارجيتين تبقيان كما هما .

الطور الانفراجى Diplotene stage :

يبدأ الطورالانفراجى بمجرد أن تنشطر الكروموسومات المتماثلة طوليا ثم تأخذ فى الابتعاد عن بعضها البعض لكي تنفصل عن بعضها بمعنى أن قوة التجاذب بين الكرموسومات المتماثلة تنقلب الى قوة تنافر بعد عملية الإنشطار الطولية للخيط الواحد . وانفصال الكروموسومات المتماثلة لا يكون انفصالا تاما حيث تبقى هذه الكروموسومات متصلة ببعضها فى بعض النقاط التى عرف بالكيمازما chiasma (الجمع كيازماتا) chiasmata. وتمثل هذه الكيازمات نقاط التبادل بين الكروماتيدات المتناظرة كما تعبر هذه النقاط القاعدة الاساسية للعبور الوراثى وتوجد الكيازماتا فى كل الحيوانات والنباتات ما عدا فى حالات قليلة . ويوجد على الأقل كيازما واحدة فى كل ثنائى أو قد يوجد أكثر . والكيازماتا عامة تكون بينية بمعنى أنها تتواجد بين نهايات الكروموسومات . والكيازمات تختزل تدريجيا وتتحرك خارجيا على طول الكروموسوم . ويطلق على هذا الاختزال عملية " الانزلاق الطرفى " terminilization .

الطور التشتتى Diakinesis :

هذا الطور يقابل المرحلة المتأخرة التمهيدية للإنقسام المباشر ويتميز بهذا الطور بانكماش الكروموسومات واستمرارية الانزلاق الطرفى حتى تختفى الكيازماتا نهائيا . ويتم لانتقال بين الطور الانفراجى والطور التشتتى بصورة تدريجية . وفى الطورالتشتتى تستمر الثنائيات الكرموسومية فى الانكماش عن طريق التحلزن .

وقد امكن باستخدام تقنية خاصة توضح تركيب كل كروماتيدة حيث وجد أنه حلزون مزدوج تكون فيه كل حلقة من الحلزون الرئيسى مكونة من حلقات عديدة من الحلزون غير الرئيسى (minor) . ونتيجة لتغلظ الكروماتيدات فإنه يصعب رؤية وتمييز الفاصل بينها والذى كان يرى بوضوح أثناء المرحلة الوسطية والنهائية للطور الانفراجى . وتسلك النويات سلوكا مشابها لسلوكها فى عملية الانقسام المباشر . ويتم الدوران بابتداء الطور التشتتى ولكن عملية الانزلاق الطرفى تستمر حتى الطور الاستوائى للإنقسام الميوزى الاول . وعندما تتم عملية الانزلاق الطرفى نجد أن أعضاء الثنائيات المتماثلة تبقى متصلة أو مرتبطة فقط عند الأطراف البعيدة التى تستقر بها السنترومیرات .

المرحلة قبل الاستوائية Pre-metaphase stage :

كما هو الحال فى عملية الإنقسام غير المباشر نجد أن الفترة بين اختفاء الغشاء النووى وبين اللحظة التى يتم فيها تكوين المغزلى تكوينا كاملا يطلق عليها " بالمرحلة الاستوائية " . وخلال هذه المرحلة تصل عملية الانزلاق الطرفى إلى قمتها وتتجه الثنائيات إلى الخط الاستوائى للمغزل وتبدأ المرحلة الاستوائية .

المرحلة الاستوائية الأولى First metaphase stage :

تختلف هذه المرحلة عن المرحلة الاستوائية للانقسام المتيوزى الجسمى فى أن كل ثنائى يحتوى على سنترومیرين (قطعتين مركزيتين) مستقلتين عن بعضها لا تنقسمان كما هو الحال فى الانقسام الميتوزى . وتقع السنترومیرات على مسافات متساوية أعلى أو أسفل الخط الاستوائى . ويجب ان نتذكر أن كل كروموسوم فى الانقسام الميتوزى به سنترومير واحد فقط ولهذا فان جميع السنترومیرات تقع فى المستوى (الخط) الاستوائى .

المرحلة الانفصالية الأولى First anaphase stage :

نتيجة لقوة التنافر فإن كل سنترومير يرحل في اتجاه قطب المغزل الأقرب ويجذب خلفه الكروماتيد المتصل به . وأثناء هذه العملية نجد أن الكيازمات التى تنزلق طدفيا تتحرك على طول نهايات الثنائى وفى المرحلة الانفصالية المتأخرة تستطيل المنطقة الوسطية للمغزل ويتم انفصال كل ثنائى الى وحدتين (نصف ثنائى) أى إلى كروموسومين .

المرحلة النهائية الأولى first telophase stage :

عندما تصل كل مجموعة من كروموسومات المرحلة الانفصالية إلى القطب المقابل أو المناظر تبدأ المرحلة النهائية . وهذا يماثل ما يحدث فى الانقسام اليتوزى العادى عدا أن كل مجموعة كروموسومية تكون احادية النترومير . وقد تبقى الكرموسومات فى صورة مكثفة . وفى هذه الحالة نجد أن الكروماتيدات الشقيقة تنفرج بعضها عن بعض وينتج من الانقسام الاختزالى الأول تكون أمهات المنى الثانوية فى الذكر وأمهات البيض الثانوية فى الأنثى . ويتبع المرحلة النهائية فترة قصيرة تعرف ما " بين الانقسام" أو " الفترة البينية " interphase وقد لا تثبت الكروموسومات فى هذه الفترة وتختفى ظاهريا وتمر بالحالة التى تتميز بها النواة البينية ، وقد تبقى فى الحالة المكثفة ولا تمر بأية تغيرات بين المرحلة الانفصاليه للإنقسام الأولوبين المرحلة الإستوائية للإنقسام الثانى .

الانقسام الميوزى الثانى Second meiotic division :

وهو يمربنفس الخطوات الرئيسية التى حدثت فى الانقساماالاول ، وتشتمل على :

الطور التمهيدى الثانى Second prophase stage :

وفيه تنقسم كل حبيبة مركزية - سنتريول - إلى قسمين يرحل كل منها إلى القطب المواجه فى الخلية ويتكون المغزل ويختفى الغشاء النووى وترتبط الكروموسومات بالالياف المغزلية وما يزال كل كروموسوم ومتكونا من كروماتيدتين.

الطور الاستوائى الثانى second metaphase stage :

تترتب الكروموسومات على خط استواء المغزل ويتكون كل كروموسوم من ثنائى ينكون من كروماتيدتين تتصلان بعضهما ببعض عند السنترومير (القطعة المركزية).

الطور الانفصالى الثانى Second anaphase stage :

ينقسم السنترومير الذى يربط كل كروماتيدتين وتنفصل الكروماتيدات الشقيقة عن بعضها وترحل فى اتجاه الاقطاب المتقابلة وقد أصبحت كل كروماتيدة الآن كرموسوما مستقلا .

المرحلة النهائية الثـانية Second telophase stage:

فى كل مجموعة مقابلة تتجمع الكروموسومات بالقرب من القطب المقابل للمغزل ثم تستطيل وتصبح قصيرة رفيعة ويتكون الغشاء النووى حول كل مجموعة كروموسومات . وبهذا تتكون النواتان وتحتوى كل منها علي العدد الفردى للكروموسومات .

تعليق على الانقسام الميوزى Comment on meiosis :

يتكون الانقسام الميوزى من انقسامين متتاليين . وفى الانقسام الأول يمر نصف عدد الكروموسومات الى كل من النواتين الشقيقتين . وفى الانقسام الثانى ينشطر كل كروموسوم الى كروماتيدتين ، وفى النهايةة تنتج أربع أنوية من الخلية الأصلية - وتحتوي كل منها على العدد الفردى (n) من الكروموسومات . وعلى ذلك تتكون اربع جاميتات تحتوى كل منها علي (n) كروموسوم .

وعندما تتحد جاميتتان مع بعضهما ينتج الزيجوت الذى يحتوى على ٢ ن (2N) ولو أن هذا الانقسام الاختزالى لم يحدث لا ازدوجت الكروموسومات عند كل اندماج .

وبالاضافة الى ذلك فإن عملية العبور التى يحدث فيها تبادل الجينات تجعل الزيجوت المتكون يستقبل مجموعة متنوعة من العوامل الجينية (الوراثية) كل من الأب والأم ، ويعمل هذا على " التنوع الوراثى " genetic variation .