

المحاضرة الثانية

الأساس السايولوجي (الخلوي) للوراثة المندلية

انقسام الخلية : Cell Division

يتوقف نمو الكائن الحي على ازدياد عدد الخلايا نتيجة انقسامها المتتالي وكذلك على زيادة حجمها، وفي الكائنات متعددة الخلايا Multicellular organism ينمو الفرد حتى يصل الى حجمه الطبيعي عند البلوغ نتيجة لهذه العمليات بالإضافة الى تمايز الخلايا (Differentiation) عن بعضها في الشكل الوظيفة اثناء النمو من خلية أحادية (البيضة المخصبة) حتى الفرد البالغ.

يعد انقسام الخلية وسيلة من وسائل التكاثر في الكائنات الوحيدة الخلية Unicellular Organisms وفي كثير من الأحيان يعد الوسيلة الوحيدة. تعتمد الكائنات الحية التي تتكاثر جنسيا على انقسام الخلية لتكوين الكميات (الأمشاج) ويشمل انقسام الخلية المحتوية على نواة على انقسامين متميزين ومتكاملين مع بعضهما تماما وهما :

1- انقسام النواة Karyokinesis

2- انقسام السايوبلازم Cytokinesis

لايبدأ انقسام السايوبلازم إلا بعد بداية انقسام النواة وقد يتأخر إلى حين إتمام انقسام النواة وقد لا يحدث على الإطلاق. وهناك نوعان من الانقسامات التلووية هما :

1- الانقسام الخيطي (الانقسام غير المباشر) Mitosis ويحدث في الخلايا الجسمية او الخضرية .

2- الانقسام الاختزالي (الانقسام المنصف) Meiosis يحدث في الخلايا الجنسية ويقود الى تكوين الكميات (الخلايا التناسلية) في الكائنات الحيوانية والنباتية التي تتكاثر جنسيا .

دورة الخلية المتطورة Eukaryotic Cell Cycle:

ويقصد بدورة الخلية سلسلة من المراحل من نهاية انقسام خيطي (اعتيادي) Mitosis الى نهاية انقسام خيطي اخر. وتكون بالتتابع $G1 \rightarrow S \rightarrow G2 \rightarrow M$ حيث يرمز الحرف G لفترات النمو growth و S لفترة التخليق synthesis و M للانقسام الخيطي، والمرحلة التي تبدأ من نهاية انقسام خيطي الى بداية انقسام خيطي اخر تعرف بمرحلة الدور البيئي interphase cycle ويختلف طول هذه الفترة حسب نوع الكائن الحي ودرجة نضجه وعلى نوع النسيج الذي تنتمي اليه الخلية وعلى الظروف البيئية الأخرى المحيطة بها. وتعرف مرحلة الدور البيئي بأنها مجموعة الأنشطة التي تحدث في الخلية مابين نهاية انقسام خلوي وبداية الانقسام الذي يليه وتشمل على : $G1 \rightarrow S \rightarrow G2$ من السلسلة المذكورة انفا .

ويمكن تقسيم دورة الخلية الى الفترات الآتية :

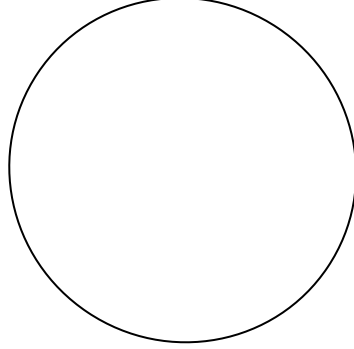
1- فترة النمو الأولى (G1) First growth stage :

تعرف هذه المرحلة بمرحلة النمو والتمثيل ، فالنواة والسايوبلازم يكبران ويقتربان من حجمهما الطبيعي ، وتكون الكروموسومات ممتدة باقصى درجات الامتداد والاستطالة داخل النواة، ويتم تخليق البروتين في هذه الفترة وتستغرق من 30-40% من مدة الدور البيئي ، وقد تختفي هذه الفترة كما في الخلايا سريعة الانقسام في المراحل الاولية لنمو أجنة الثدييات كما قد تكون طويلة جداً كما في خلايا جذور الذرة الناضجة حيث تستغرق أكثر من 150 ساعة .

2- فترة التخليق او التكوين Synthesis stage :

يتم في هذه الفترة تخليق الحامض النووي DNA وكذلك الهستونات Histones . وفيها تزوج الكروموسومات طويلاً ويكون كل كروموسوم مكوناً من كروماتيدتين

3. **Two chromatids**. وتستغرق هذه الفترة من (35- 45 %) من الدور البيئي وتمثل أطول فترة فيه كما موضح في الشكل التالي:



3- فترة النمو الثانية (G2) **second growth stage** تكون هذه الفترة اقل وضوحاً من فترة النمو الأولى ، ويستمر فيها نشاط تكوين البروتين وتكون مدتها قصيرة فتبلغ 10-20 % من الدور البيئي.

4- فترة الانقسام الخيطي (الانقسام غير المباشر) **Mitosis** : وهي الفترة التي يتم فيها انقسام الخلية وتتكون من أربعة مراحل او أدوار هي : Prophase والاستوائي **metaphase** والانفصالي **anaphase** والنهائي **telophase** .

ان فترة الانقسام الاعتيادي (M) هي قصيرة نسبياً كما في الشكل أعلاه إذا ما قورنت بالفترات الأخرى لدورة الخلية .

ان طول فترة النمو الأولى (G1) هو الأكثر تبايناً للنوع الواحد من الخلايا قياساً بأطوال الفترات الأخرى وذلك لاعتمادها على الظروف البيئية ، فعندما تكون العناصر الغذائية نادرة او قليلة مثلاً تبقى الخلية في حالة توقف عن النمو **stationary** وعن الفعاليات الحيوية وتبقى في فترة (G1) الى حين توفر العناصر الغذائية . وبصورة عامة تكون فترتي التخليق (S) والانقسام الاعتيادي (M) من أهم الفترات ، وطولهما الأكثر ثباتاً، حيث يتم فيهما تخليق الـ **DNA** وتتضاعف الكروموسومات وتتوزع وتنفصل الكروموسومات المتضاعفة الى الخلايا البنئية (الخلايا الناتجة) .

الانقسام الخيطي (غير المباشر) **Mitosis** : أشار فلمنك **Flemming** عام 1883 إلى التغيرات التي تسلكها النواة خلال الانقسام لتكوين نواتين شقيقتين، وأطلق اسم كروماتين (صبغي) **Chromatin** على اجزاء النواة القابلة للاصطبغ . تنفصل الكروموسومات (الصبغيات) طولياً في اثناء انقسام الخلية ويتم هذا الانقسام في خلايا كافة الحيوانات والنباتات الرقيقة لزيادة عدد خلايا الجسم اللازمة للنمو او لتعويض الخلايا وترميم الأنسجة . يتضمن الانقسام الخيطي انقسام النواة **Karyokinesis** والسايتوبلازم **Cytokinesis** . وإذا حدث انقسام النواة دون ان يتبعه انقسام السايتوبلازم ينتج عن ذلك خلية عديدة النوى **coenocytes** كما في الفطر الغروي **slime mold** وإذا افتقدت الخلايا جدرانها كلياً يظهر نسيج يتكون من كتلة بروتوبلازمية فيها نوى متعددة كما في العضلة المخططة **striped muscle** وتدعى هذه الحالة **syncytium** .

يطلق على الانقسام الخيطي (غير المباشر) أيضا اسم انقسام الخلية الجسدية Somatic cell division ويمر الانقسام الخيطي بادوار متتالية هي :

1- الدور التمهيدي prophase :

يبدأ الدور التمهيدي للانقسام الخيطي بنهاية فترة النمو الثانية (G2) حيث يبدأ حجم النواة بالزيادة وتظهر الكروموسومات (الصبغيات) موزعة عشوائيا فيها ومزدوجة طوليا ويسمى كل من نصف كروموسوم كروماتيد Chromatid أو جدلية ، وتكون الكروماتيدان ملتصقين ببعضهما بواسطة السنتروميير Centromere مركز الكروموسوم (الصبغي) ، ويبدو السنتروميير في النواة المصبوغة منطقة صغيرة رائقة نسبيا وكروية الشكل . تزداد الكروموسومات في التثخن والقصر نتيجة تحلزن Coiling الكروماتيدات الشقيقة حول نفسها . ويعد قصر الكروموسومات وتثخنها من أهم سمات هذا الدور .

يبدو السنتروميير إذا فحص بالمكروسكوب الاليكتروني منطقة غامقة ومعقدة التركيب بداخلها مركزان يعرف كل منهما باسم مركز حركة الكروماتيد أو خيط الكروموسوم Kinetochore ، ويوجد مركز واحد لكل كروماتيد شقيقة ، وتتصل خيوط المغزل Microtubules spindle بمركز حركة خيط الكروموسوم . ولمنطقة السنتروميير اهمية كبيرة فإذا انكسر الكروموسوم نتيجة المعاملة ببعض الكيماويات أو الأشعة السينية - x rays فان شظايا الكروموسوم غير المحتوية على السنتروميير fragments a centric تبقى في الساييتوبلازم لعجزها عن الحركة لذا تفقد نهائيا.

يبدأ الجسم المركزي Centro some بالازدواج وتبدأ النوية nucleolus بالاختفاء التدريجي حيث تختفي نهائيا في نهاية الدور، وقد تبقى في بعض الحشائش والاشنات، حيث تتوقف عن العمل وتطرح في الساييتوبلازم. أن تحلل واختفاء غشاء النوية unclear membrane يبدأ في هذا الدور أيضا ولا تعرف ميكانيكية هذا الاختفاء بصورة كاملة ولكن يعتقد اكثر العلماء أن ذلك يحدث نتيجة عملية أنزيمية بدليل تراكم الميتاكوندريا حول غشاء النواة في الخلايا الحيوانية أما باجير(1968) Bajer فيعتقد أن سبب اختفاء غشاء النواة يعود إلى الشد والضغط التي تسببها خيوط المغزل.

وبتقدم هذا الدور يبدأ جدار النواة بالاختفاء ويتكون المغزل spindle وملحقاته ويسمى جهاز الانقسام الخيطي (الاعتدادي) ، وهو يشغل معظم الحيز داخل الخلية ، ويتكون جهاز الانقسام الخيطي من أنابيب رفيعة جداً تعريف باسم الألياف المغزلية microtubules التي يتراوح قطرها بين 15-30 نانوميتر وبترتيب مواز للمغزل وتكون بثلاثة أشكال وهي الألياف المستمرة continuous fibers وتمتد من احد أقطاب المغزل إلى القطب الآخر، والألياف الكروموسومية وتمتد من احد قطبي المغزل إلى مركز حركة خيط الكروموسوم أو الكروماتيد. وشكل ثالث لوحظ من قبل بعض الباحثين وتدعى الألياف المركزية interzonal fibers وتكون بين السنترومييرات للكروموسومات المفصولة والمتجهة إلى قطبي الخلية ويكون ذلك في آخر الدور الانفصالي.

وتتركب الألياف المغزلية من 90% بروتين والقليل من الحامض النووي الرايبوزي RNA (حوالي 5%) وكمية قليلة من السكريات متعددة Polysaccharides وشحوم lipids، وفي نهاية هذا الدور تتحرك الكروموسومات المزدوجة إلى المستوى الوسطي midplane للمغزل ويطلق على هذه الفترة ما قبل الاستوائي prometaphase أو metakinesis. ان الدور التمهيدي يستغرق معظم وقت الانقسام الخيطي في غالبية الكائنات الحية .

2- الدور الاستوائي Metaphase :

يختفي كلياً الغشاء النووي وتظهر خيوط المغزل spindle بوضوح في هذا الدور على الرغم من ان بداية تكونها كان في نهاية الدور السابق وبداية الدور ما قبل الاستوائي ومن

أهم مميزات هذا الدور ان الكروموسومات (الصبغيات) ترتب نفسها بحيث تشمل المستوى الوسطي (الاستوائي) للمغزل ، وتكون السنتروميترات موجودة في هذا المحور الاستوائي في حين تتجه اذرع الكروموسومات في اي اتجاه كان . وفي هذا الدور تصل الكروموسومات الى أقصى درجات القصر والثخن الممكنة. وتبقى الكروماتيدات الشقيقة **sister chromatids** ملتصقة معاً بواسطة ألياف الكروماتين **chromatin fiber** التي تربط منطقتي السنتروميتر مع بعضها .

يعد هذا الدور انسب المراحل لدراسة الكروموسومات والتعرف على شكلها الخارجي وعلى العدد الحقيقي لها ولاسيما عندما تفحص الخلية من احد اقطابها . وباستعمال المايكروسكوب الالكتروني اتضح أن ما يسهل عملية انفصال الكروماتيدات الشقيقة عن بعضها في الدور الانفصالي **anaphase** هو اتجاه مركز حركة خيط الكروموسوم **kinetochore** الخاص بإحدى الكروماتيدات الشقيقة لأحد الأقطاب في حين مركز حركة خيط الكروموسوم الخاص بالكروماتيدة الأخرى الشقيقة يواجه القطب الأخر.

3- الدور الانفصالي **Anaphase** :

وفي بداية هذا الدور ينقسم السنتروميتر وتفصل الكروماتيدتين الشقيقتين (جديلتا الكروموسوم) وتتجه كل واحدة إلى قطب يخالف القطب الذي تتجه إليه الكروماتيدة الأخرى، وعند انفصال الكروماتيدتين الشقيقتين تعد كل كروماتيدة كروموسوماً مستقلاً جديداً تسمى كروموسومات بنتية **Daughter chromosomes** حيث تنفصلان دائماً عند نقطة الاتصال وهذه النقطة تكون في المقدمة نحو القطب وتجر وراءها ذراعي الكروموسومات البنتية التي لا تستطيع التحرك بدونها، وإذا ما وجد الكروموسوم بلا سنتروميتر فإن حركته قد تتبع سيل التيار على طول المغزل أو يبقى جسماً خاملاً بالقرب من المنطقة الاستوائية . تتجه الكروموسومات الى قطبي الخلية ، حيث ان عدد وشكل الكروموسومات التي تذهب الى احد القطبين تساوي تماماً عدد وشكل الكروموسومات التي تذهب إلى القطب الثاني ، وعند وصول الكروموسومات البنتية الى قطبي الخلية يكون هذا الدور قد انتهى .

4 - الدور النهائي **Telophase** :

يبدأ هذا الدور عند وصول الكروموسومات إلى قطبي المغزل وتبدو الكروموسومات بشكل خيوط منفردة **Single strands**، وينتهي بتكوين نواتين جديديتين ودخول كل منهما فترة النمو الأولى (**G1**) من الدور البيني **interphase** وبعد اكتمال سحب الكروموسومات يبدأ تكوين غشاء نووي جديد من بقايا الغشاء النووي القديم أو من مواد مشتقة من الشبكة الاندوبلازمية، أو من مواد مخلقة من مكونات خلوية معينة. ثم يبدأ جهاز الانقسام الاعتيادي بالاختفاء . وتبدأ بعد ذلك النوية بالتكون والظهور بمنطقة جوار تنظيم النوية **Unicellular organizer site** ثم تأخذ الكروموسومات بالاستطالة وتصبح خيوطاً رفيعة متشابكة ويصعب التعرف عليها كوحدات مستقلة ، ثم يحدث تضاعف للكروموسومات بحيث يصبح كل كروموسومات مكوناً من كروماتيدتين شقيقتين وذلك في فترة التخليق (**S**) من الدور البيني **Interphase** .

انقسام السايئوبلازم **Cytokinesis** :

يحدث انقسام السايئوبلازم في أثناء الدور النهائي من الانقسام الخيطي وبعض الأحيان يبدأ في الدور الانفصالي . في خلايا النباتات الراقية يتم انقسام الخلية بتكوين صحيفة خلوية **cell plate** عند المستوى الاستوائي للخلية ، ويتم ذلك بتكوين مجموعة من البثرات **vesicles** في وسط الجهاز الخيطي ثم تلتحم هذه البثرات ابتداءً من مركز المغزل لتكوين جسم الفراكموبلاست **phragmoplast** ، وبذلك تتكون الصحيفة الخلوية خلال جسم الفراكموبلاست ثم تمتد بصورة تدريجية ابتداءً من منتصفه لتقسيم الفراكموبلاست الى قسمين ، ثم يختفي جسم الفراكموبلاست وتنمو الصحيفة الخلوية، وتعرف بالصحيفة الوسطى **middle lamella** التي تتحول الى جدار خلوي نتيجة الترسيبات على

جانبيها في كل من الخليتين البنتيتين . وفي الخلايا الحيوانية يتم انقسام الساييتوبلازم عن طريق حدوث تحضر أو أخدود furrowing يزداد في العمق تدريجياً إلى ان تنقسم الخلية إلى خليتين .

اهمية الانقسام الاعتيادي (الخيطي) : significance of mitosis

الانقسام الاعتيادي يؤدي الى إنتاج خليتين جديدتين متماثلتين في محتوياتهما وخاصة المحتوى الكروموسومي كما ونوعاً . حيث يتم توزيع الكروموسومات بكميات متساوية تماماً على الخليتين الجديدتين الجسديتين وبطريقة منتظمة جيلاً بعد آخر . إن عملية تضاعف الكروموسومات في فترة التخليق (S) من الدور البيئي تنتج كروموسومات جديدة متشابهة في شكلها وفي محتواها من العوامل الوراثية (الجينات) ، وهذا يدل أن الكروموسومات يمكنها أن تقوم بعملية حمل الجينات وان الكروموسومات هي المكون الوحيد التي لها نظام يضمن توزيعها بانتظام وبالتساوي على الخلايا الجديدة ، لذا فهي انصب مكونات الخلية لحمل الجينات وضمان وتوزيعها الى الخلايا الجديدة . وعلى الرغم من توفر بعض الأدلة على أن ميكانيكية الانقسام الخيطي تؤكد موقع الجينات على الكروموسومات ، فلا يزال بحاجة الى بعض البراهين الكيماوية والفيزيائية ، ومع هذا فان نظرية موقع الجينات على الكروموسومات تبدو صحيحة ومقنعة بدرجة كبيرة .

الانقسام الاختزالي (الانقسام المنصف) : Meiosis

تتحد الكميات الذرية والأنثوية أي الخليتان الجنسيان Sex cells الحاويتان على نصف العدد الأصلي من الكروموسومات بعملية الإخصاب Syngamy لتكوين البيضة المخصبة (اللاقحة) Zygote التي تستلم العدد الكامل من الكروموسومات (2n) أي ضعف عدد الكروموسومات الموجودة في كل كميته . بما أن البيضة المخصبة تتكون من اتحاد نواتي الكميته الذكري والأنثوي فإنها تحتوي على جميع الكروموسومات الموجودة في نواة الكميته الذكري والكمية الأنثوي . وكروموسومات كل كميته تحفظ بخواصها بصورة مستقلة في البيضة المخصبة نتيجة وجود الكروموسومات في أزواج متشابهة او متناظرة homologous pairs في الخلايا ثنائية المجموعة الكروموسومية diploid الكميته تكون أحادية المجموعة الكروموسومية ويعبر عن المحتوى الكروموسومي لها بالرمز (n) .

من المعلوم أن احد أفراد زوج الكروموسومات المتناظرة يأتي من الأب paternal والآخر من الأم maternal فإذا احتوت نواة الحيوان المنوي على كروموسوم طرفي السنتروميير Telocentric وله تابع satellite وطوله في الدور الاستوائي خمسة مايكرومترات فلا بد ان تحتوي نواة البيضة على كروموسوم له نفس المواصفات هذه autosomes identical chromosome . هذا بالنسبة لجميع الكروموسومات الجسدية التي تشابه في الذكور والاناث . لكن الأمر يختلف في الكروموسومات الجنسية Sex chromosome . وبما ان الخلايا المخصبة (الزيجة zygote) تتكاثر عن طريق الانقسام الاعتيادي لذا فان جميع الخلايا الناتجة تحتوي على كل ازواج الكروموسومات الموجودة فيها .

إن عملية الإخصاب تؤدي إلى إدماج كروموسومات كل كميته في نواة البيضة المخصبة ولتعديل تأثير عملية الاتحاد هذه Syngamy لابد من وجود عملية أخرى في مرحلة ما قبل تكوين الكاميتات في دور حياة الكائن الحي تؤدي الى اختزال عدد الكروموسومات في الكميته الناتجة الى النصف (n) ، تدعى هذه العملية الانقسام الاختزالي (الانقسام المنصف) meiosis وهو الحدث الوراثي والخلوي الاساسي الثاني في الدورة الجنسية للكائن الحي بعد عملية الإخصاب . يشمل الانقسام الاختزالي على انقسامين متعاقبين لكل واحد منهما ادواره الخاصة ، الانقسام الاول يشمل انقسام الكروموسومات النظيرة مؤديا الى

تكوين نواتين احاديتي المجموعة الكروموسومية (n) . والانقسام الثاني يشمل الانفصال الطولي لكروماديتي كل كروموسوم في كل من النواتين الاحاديتين منتجا اربع نوى احادية المجموعة الكروموسومية ، وتتكون الكميات الجنسية بعد انقسام السايوتوبلازم . ان كل خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) يطلق عليها **meiocyte** ، وتكون على وشك الدخول في عملية الانقسام الاختزالي والذي يشتمل على الادوار التالية :

اولا:
الانقسام الاختزالي الاول 1 - Meiosis :

1- الدور التمهيدي الاول 1 - Prophase :

ينقسم هذا الدور الى مراحل مختلفة متتالية ومتداخلة بلا حد فاصل بينها والسبب هو السلوك المعقد والتغيرات الشكلية للكروموسومات في هذا الدور وهذه الادوار هي :

أ - الطور القلادي **Leptotene stage** :

وفيه تبدأ الكروموسومات في الظهور وتبدو واضحة تحت المجهر الاعتيادي كأجسام خيطية رفيعة على الرغم من ان الدراسات الكيماوية والتصوير الشعاعي الذاتي **chemical and autoradiography studies** اشارت الى ان تضاعف الخيوط الكروموسومية تحدث في فترة التخليق S-Stage في الدور البيئي **interphase** السابق للدور التمهيدي. هذا ولعدم مشاهدة الكروماتيدات يبدو الكروموسوم خيطا رفيعا مفردا، وفي نهاية هذا الدور تقصر وتتخذ الكروموسومات تدريجيا وبما يشبه الانقسام الخيطي .

ب - الطور الاتحادي **Zygotene stage** :

بعد تتخذ الكروموسومات يقترن كل زوج كروموسومي متناظر **homologous pairs** مع بعضهما ويتجاوران بحيث يتوازي محوريهما الطوليان ، وتعرف هذه العملية باسم الاقتران **synapsis** وهي الظاهرة التي يتميز بها الانقسام الاختزالي عن الانقسام الخيطي ، وهي عملية دقيقة تتم بين النقاط المتماثلة على طول الكروموسومين ، ويبدو الكروموسوم تحت المجهر مزدوجا طويلا . وهناك تركيب معقد بين الكروموسومات المقترنة **synaptnemal complex** لتثبيت الكروموسومات المتشابهة اثناء عملية الاقتران وعملية العبور **crossing-over** ولا يوجد هذا التركيب المعقد في الكائنات الحية التي لا يحدث فيها العبور .

ج- الطور الضام **Pachytene stage** :

يبدو كل كروموسوم مكون من كروماتيدتين وبشكل واضح ، والكروموسومان المقترنان يكونان وحدة ثنائية الكروموسوم تحتوي على اربعة كروماتيدات (اربع خيوط كروموسومية) **tetrads** . وتتبادل الكروماتيدات غير الشقيقة بعض الأجزاء الكروماتيدية (المادة الوراثية) وتدعى هذه بعملية العبور - **over crossing** . ومما يدل على حدوث هذه العملية وجود التصالب بشكل X وتدعى هذه النقطة باسم كيازما او التصالب **chiasma** (الجمع كيازماتا **chiasmata**) وأساس هذا التداخل غير واضح تماما، وكلما كان زوج الكروموسومات طويلا كلما زاد احتمال حدوث أكثر من كيازما واحدة، ان حدوث كيازما في منطقة معينة تقلل من احتمال تكوين تصالب آخر بجوارها على الذراع الكروموسومي نفسه.

د- الطور الأزواجي **Diplotene stage** :

يبدأ انفصال الكروموسومين المقترنين (الكروموسومات المتناظرة) عن بعضهما ما عدا منطقة الكيازما ، وتستمر الكروموسومات في زيادة السمك والقصر .

هـ - الطور المفرغ **Diakinesis** :

يعد هذا الطور اخر مرحلة من الدور التمهيدي وفيه تصل الكروموسومات الى اقصر طول واكثر سمك ممكنين . وفيه يبدأ انفصال الكروموسومات المقترنة عن بعضها، وتنتشر متباعدة داخل النواة قريبا من غشائها وتبدأ الكيازمات في عملية الانزلاق **Terminalization** لكنها لا تزال متلاصقة في مناطق الكيازما وفيها تتحرك

تدرجياً الى الخارج باتجاه أذرع الكروموسوم السائبة وذلك نتيجة لتواصل قصر الكروموسومات وأخيراً تبدأ النوية في الاختفاء ويبدأ الغشاء النووي في التحلل والاختفاء ويبدأ المغزل في التكوين وخيوطه في الظهور .

2- الدور الاستوائي الأول 1-Metaphase:

تصل الكروموسومات المتناظرة والمقترنة وهي الوحدات الثنائية **bivalent** خط استواء المغزل ، ويختلف هذا الدور عن نظيره في الانقسام الخيطي حيث أن الوحدات الثنائية الكروموسوم هي التي تترتب في الخط الاستوائي وليست الكروموسومات الأحادية كما هو الحال في الانقسام الخيطي . إضافة الى ذلك فإن عدد الوحدات الثنائية هو العدد الاحادي لما تحتويه من كروموسومات **monoploid number** بينما الكروموسومات في الانقسام الخيطي والتي تصطف في خط الاستواء لها العدد الثنائي . أن سنتروميير كروموسوم في الوحدة الثنائية يتجه الى احد أقطاب المغزل بينما يتجه سنتروميير الكروموسوم الآخر الى القطب الآخر للمغزل وأن اتجاه كل كروموسوم من الواحدة الثنائية الى احد أقسام المغزل يكون بطريقة عشوائية، فقد يتجه الكروموسوم الأبوي **paternal** من الوحدة الثنائية الى قطب ، بينما في الواحدة الثنائية الأخرى يتجه الكروموسوم ألي من الأم **maternal** الى القطب الآخر. والطريقة العشوائية هذه في توزيع الكروموسومات لها أهمية كبيرة من الناحية الوراثية .

3- الدور الانفصالي الأول 1-Anaphase:

يحدث في هذا الدور انفصال **disjunction** للكروموسومين المتناظرين المقترنين ويتجه كل كروموسوم الى قطب مخالف للقطب الذي يتجه إليه نظيره الآخر وكل كروموسوم يكون مزدوج التركيب طويلاً ، أي يتكون من كروماتيدين ويتم انزلاق الكيانات مؤدياً الى انتهائها جراء عملية انفصال الكروموسومات المقترنة . يختلف الانقسام الاختزالي عن الانقسام الخيطي بالنسبة لهذا الدور ، حيث يتم في الانقسام الخيطي انفصال الكروماتيدتين الشقيقتين عن بعضها وتتجه كل كروماتيدة الى قطب مخالف للقطب الذي تذهب إليه شقيقتها ، وكل كروماتيدة تصبح كروموسوماً جديداً وبذلك تحتوي نواة كل خلية جديدة على النسخة نفسها من الكروموسومات التي كانت موجودة في النواة الأم. بينما يذهب في الانقسام الاختزالي كروموسوم واحد من كل وحدة ثنائية الكروموسوم الى احد الأقطاب بينما يتجه الكروموسوم الآخر القرين الى القطب الآخر ونتيجة لهذا العملية يتجمع في كل قطب نصف عدد الكروموسومات وبالتالي تحتوي كل نواة جديدة على نصف العدد ، بمعنى آخر يتم في الانقسام الخيطي انفصال الكروماتيدتين الشقيقتين عن بعضهما بينما في الانقسام الاختزالي يتم انفصال الكروموسومين المتناظرين **homologous chromosome** (وكل كروموسوم مكون من كروماتيدين).

4- الدور النهائي الأول 1-Telophase:

بوصول الكروموسومات الى قطبي المغزل ينتهي الدور الانفصالي الاول ويبدأ الدور النهائي الاول . يختلف هذا الدور باختلاف الكائنات الحية ، ففي بعض الحالات يظهر الغشاء النووي حول الكروموسومات ثم تظهر النوية بجوار منطقة تنظيمها ثم ينقسم الساييتوبلازم فتتكون خليتان جديدتان تدخلان الدور البيني الذي يستمر فترة قصيرة او طويلة نسبياً بين الانقسام الاختزالي الاول والثاني . وفي حالات اخرى لا يحدث انقسام السيتوبلازم بل تدخل النواة مباشرة الى الدور التمهيدي الثاني وفي كل هذه الحالات يحقق الانقسام الاختزالي الاول انفصال الكروموسومات المتناظرة ويؤدي الى خفض عدد الكروموسومات في النوى الناتجة من الانقسام الى النصف .

ثانياً :

الانقسام الاختزالي المنصف الثاني 11 - Meiosis :

1- الدور التمهيدي الثاني 11 - Prophase :

يكون هذا الدور قصيراً ويشبه ظاهرياً الدور التمهيدي للانقسام الخيطي عدا ان الكروماتيدتين الشقيقتين للكروموسوم تكونان منفرجتين عن بعضهما ولا تبدو عليهما التلافيف الحلزونية بصورة واضحة.

2- الدور الاستوائي الثاني 11-Metaphase :

يظهر مغزلان في الخلية متعامدان على المحور الطولي للمغزل في الدور الاستوائي الاول . ويترتب العدد الاحادي للكروموسومات على خط استواء المغزل ويكون كل كروموسوم مكون من كروماتيدتين متصلتين في منطقة السنتروميير ويستغرق هذا الدور فترة قصيرة .

3- الدور الانفصالي الثاني 11-Anaphase :

ينشق كل سنتروميير طولياً ويؤدي ذلك الى انفصال الكروماتيدتين الشقيقتين عن بعضهما وتتجه كل واحدة منهما الى قطب مخالف للقطب الذي تتجه اليه الاخرى ، يتشابه هذا الدور مع الدور الانفصالي في الانقسام الخيطي وينتهي عند وصول الكروموسومات الجديدة الى الاقطاب.

4 - الدور النهائي الثاني 11-Telophase :

عند وصول الكروموسومات الى الاقطاب تبدأ بالطول والنحافة وتلتف حول بعضها أي تعود الى صورتها التي وجدت عليها في الدور البيئي ، وتظهر النوية والغشاء النووي وينقسم السايوبلازم وبذلك تنفصل كل نواة عن الاخرى .

أهمية الانقسام الاختزالي Significant of Meiosis :

يؤدي الانقسام الاختزالي الى خفض عدد الكروموسومات الى النصف في الكميات الناتجة بحيث تتكون أربع نوى أحادية monoploid من نواة واحدة ثنائية diploid هي الأم ، وبذلك يعدل الانقسام الاختزالي تأثير مضاعفة عدد الكوموسومات الناتجة من عملية اتحاد الكميات بعملية الإخصاب.

يؤدي الانقسام الاختزالي الأول الى اختزال عدد الكروموسومات من العدد الثنائي الى العدد الأحادي ، بينما في الانقسام الاختزالي الثاني يتم توزيع الكروموسومات الموجودة في النواة الأحادية بالتساوي على النواتين الجديدتين ، لذا فان الانقسام الاختزالي هو لاختزال عدد الكروموسومات reductional of chromosomes والانقسام الاختزالي الثاني هو لمعادلة وتوزيع الكروموسومات Equational of chromosomes .

ان للانقسام الاختزالي دوراً كبيراً في استحداث الاختلافات في الصفات الوراثية التي تتحكم بها الجينات المحمولة على الكروموسومات بطريقتين أساسيتين هما :

1 - التوزيع العشوائي للكروموسومات الأبوية والأمية على نواتج الانقسام :

ولتوضيح ذلك نفرض ان لدينا فرداً خليطاً لثلاثة أزواج من الجينات trihybrid و تركيبه الوراثي Aa Bb Cc ولنفرض ان الجينات ABC جاءت من الأب واليالاتها abc جاءت من الأم ، وان كل زوج من هذه الاليالات محمول على زوج من الكروموسومات . فمثلاً زوج الاليالات Aa يحمل على زوج الكروموسوم رقم 1 وزوج الاليالات Bb يحمل على زوج الكروموسوم رقم 2 وزوج الاليالات Cc يحمل على زوج الكروموسوم رقم 3. في الدور التمهيدي الأول يقترن الكروموسوم الأبوي paternal رقم 1 مع الكروموسوم الأمي maternal رقم 1 وهكذا بالنسبة للزوجين الآخرين رقم 2,3 . ويترتب كل زوج من الكروموسومات المتناظرة في المستوى الوسطي للمغزل وذلك في الدور الاستوائي الأول بطريقة عشوائية . بمعنى ان الكروموسوم الأبوي في أي زوج لديه الفرصة نفسها مثل

الكروموسوم الأمي لكي يواجه اي قطب معين من أقطاب الخلية . وبالنتيجة فان لكل نواة متكونة في الدور النهائي الأول الفرصة نفسها لتحتوي على الكروموسوم أبوي أو أمي من الوحدة الثنائية التي تحتوي على كروموسومين المتناظرين وهكذا ، ففي حالة وجود ثلاثة أزواج من الاليلات . وكل زوج محمول على زوج من الكروموسومات المتناظرة من الممكن الحصول على ثمانية تركيبات وراثية مختلفة في الدور النهائي Telophase I هي:

النواة الأولى	النواة الثانية
ABC	abc
ABc	abC
AbC	aBc
Abc	aBC
aBC	Abc
aBc	AbC
abC	Abc
abc	ABC

أما الانقسام الاختزالي الثاني 11 - meiosis فإنه يعمل على مضاعفة عدد كل تركيب وراثي من التراكيب المبينة في الجدول المذكور أعلاه. والجدول يوضح أنواع الكميات المختلفة والتي ينتجها الفرد الخليط وهي تمثل عدد أنواع التوافقات الممكنة combinations التي تحملها كميات الفرد الخليط وتحسب من المعادلة 2^n حيث ان n هو عدد العوامل الخليطة في التركيب الوراثي للفرد. وإذا أخذ من هذا الفرد عدد كبير من الكميات فيلاحظ ان الأنواع الثمانية من الكميات تكون بأعداد متساوية . وفي الكائنات الحية متعددة الكروموسومات يكون عدد أنواع التراكيب الوراثية للكميات كبير جدا، فمثلا في الإنسان يوجد 23 زوج من الكروموسومات ولو فرضنا ان فردا يحمل زوجا واحدا من الاليلات بحالة خليطة على كل زوج من أزواج الكروموسومات، فان هذا الفرد يكون قادرا على إنتاج $(2^{23}) = 8.38$ مليون نوع ممكن من التوافيق المختلفة من الكميات، وباتحاد الكميات الذكورية والأنثوية وبصورة عشوائية فان احتمال التركيب الوراثي للبيضة المخصبة يكون تقريبا واحدا من 64 تريلون من التراكيب الوراثية المختلفة الممكنة (واحد تريلون = الرقم واحد وإمامه 12 صفر). لقد فرضنا في مثالنا السابق زوجا واحدا من الاليلات بحالة خليطة على كل زوج من أزواج الكروموسومات فقط ومن هنا نلاحظ ضخامة الاختلافات الوراثية الممكنة من عملية توزيع الكروموسومات على الأقطاب عشوائيا .

2 - العبور Crossing over :

لتوضيح دور العبور نفترض ان هناك ثلاثة جينات (ABC) محمولة على الكروموسوم نفسه اي انها جينات مرتبطة Linked. ولنفرض ان الفرد الخليط heterozygote أخذ من ابيه الاليلات ABC ويحمل الكروموسوم المتناظر الذي وصله من الام الاليلات abc وفي الانقسام الاختزالي لهذا الفرد اذا لم يحدث أي عبور بمعنى عدم تكوين أي كيازما (تصالب) فإنه ينتج نوعان فقط من الكميات هما ABC ، abc ، وبنسب متساوية ، أما إذا حدث عبور بين الجينين A وB وبين الجينين B وC فسوف ينتج الفرد ثمانية أنواع من الكميات بنسب مختلة ويتوقف تكرار كل نوع على معدل العبور بين الجينات المختلفة . وظاهرة العبور مهمة في تحديد مواقع الجينات على الكروموسومات والمسافات التي فصلها عند وضع الخرائط الوراثية للكروموسومات كما سنلاحظ ذلك في ما بعد .