الفصل الأول

الخليـة

تركيب الخلية

الكائنات الحية إما وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا، فهنالك العديد من أنواع الحيوانات المجهرية التي يتركب جسمها من خلية واحدة مثل الأوليات وفي هذه الحالة تقوم الخلية المكونة لجسم الكائن الحي بجميع العمليات الحيوية. أما أجسام الكائنات عديدة الخلايا فتتكون من عدد من الأعضاء يتركب كل عضو منها بدوره من عدة أنواع من الأنسجة وهذه الأنسجة كل منها مكون من نوع أو عدة أنواع من الخلايا المتخصصة التي تقوم بأدوار مشتركة مع بعضها في تكامل وتوافق. فالخلية هي أصغر وحدة حية في الكائنات الحية وهي وحدة البناء والأداء في هذه الكائنات. تشترك الخلايا في بناء داخلي عام مكون من كتلة بروتوبلازمية عبارة عن وسط غرواني مكون من ماء ومواد عضوية وغير عضوية توجد به نواة يحيط بها غشاء خلوي. والجزء من البروتوبلازم الذي يحيط بالنواة ويغلفه غشاء الخلية يدعى السيتوبلازم وينتشر فيه العديد من العضيات السيتوبلازمية مثل الميتوكوندريا (الحبيبات الخيطية)، والشبكة الاندوبلازمية، وجهاز غولجي، والفجوات، والجسم المركزي، والرايبوسومات وغير ذلك. وليست الخلايا في النسيج الواحد على نمط واحد فقد تختلف في الشكل والحجم والوظيفة وأبسط مثال على ذلك خلايا الدم المكونة للأنسجة الوعائية.

ولا بد من الإشارة إلى أن دراسة الخلية ومكوناتها (الشكل رقم ١) بدأت بعد اكتشاف الخلية من قبل العالم روبرت هوك عام ١٦٦٥م ومن ثم تلى ذلك وضع ما عرف بنظرية الخلية Cell theory. ويمكن إجمال مباديء هذه النظرية بالآتي: -

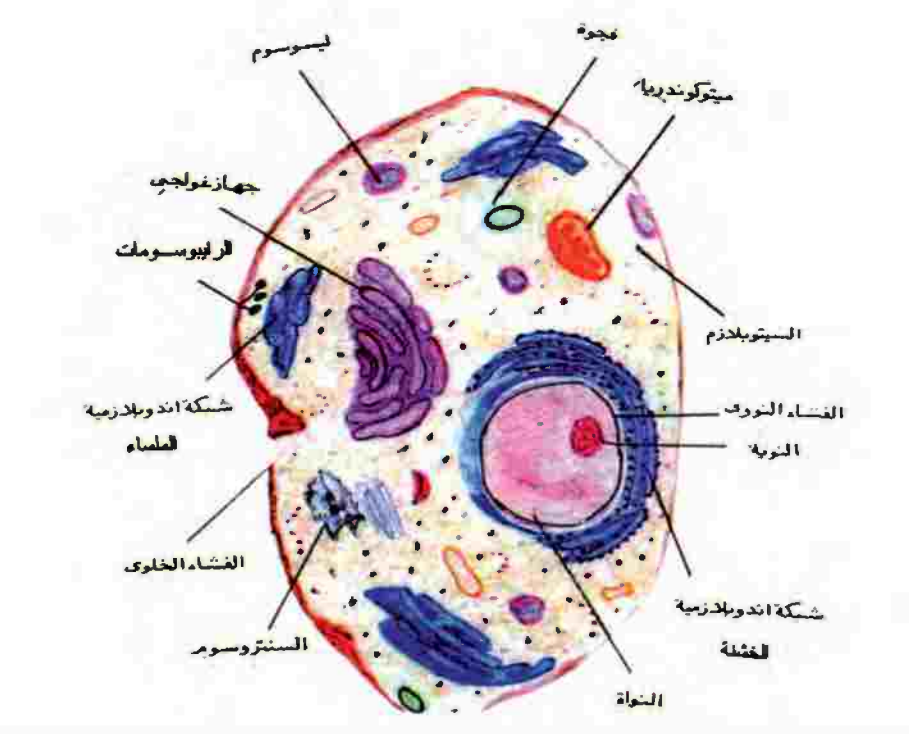
١ - جميع الكائنات الحية تتكون من خلايا.

٢ - الخلايا هي أصغر الوحدات الحية وتشكل الأساس في تكوين الأنسجة والأعضاء.

٣ - تنتج الخلايا فقط من انقسام خلايا سابقة لها.

يحيط الغشاء الخلوي Cell membrane ، بالبروتوبلازم ويختلف في صفاته، وتركيبه باختلاف الخلايا، ويتراوح سمكه ما بين (٨٠ - ١٠٠) أنجستروم. ويتركب الغشاء الخلوي في الخلايا الحيوانية من طبقتين من البروتين سمك كل منهما (٢٠-٢٥) أنجستروم بينهما طبقتان من الدهون الفوسفاتية يبلغ سمك كل منهما (٣٠-٣٥) أنجستروم (الشكل رقم ٢). وينظر إلى الغشاء الخلوي على أنه فسيفسائي التركيب Mosaic model والوظيفة. وتأتي هذه النظرة بسبب التنوع الكبير للبروتينات والدهون المكونة لهذا الغشاء. فعلى سبيل المثال هنالك أكثر من ٥٠ نوعاً من البروتينات في الغشاء الخلوي لكريات الدم الحمراء بعضها محب والأخرى كارهة للماء إضافة إلى التنوع في الحموض الدهنية المكونة لدهون هذا الغشاء. يساعد هذا التركيب الدقيق لغشاء الخلية ليس في حماية الخلية من المؤثرات الخارجية فقط بل في تنظيم التبادل بين الخلية والوسط المحيط بها من خلال قدرته على إمرار الجزئيات المؤينة وغير المؤينة طبقاً لخاصية النفاذية الاختيارية. يتم التبادل بين الخلية والوسط المحيط بها من خلال فتحات دقيقة في الغشاء الخلوي تحمل شحنات كهربية بعضها موجبة وأخرى سالبة. ويبرز للغشاء الخلوي لبعض الخلايا خملات دقيقة تشكل حواف مخططة كما هو الحال في الخلايا الماصة في الأمعاء الدقيقة. وفي بعض الأنواع من الخلايا يحتوي الغشاء الخلوي

علـى ثنيـات لا تلبـث أن تنفصـل مكونـة حويصـلات إرتشـافية تتحـرك في داخـل السيتوبلازم وتستخدم هـذه الحويصـلات في الإلتـهام كمصـدر غـذاء لهـذه الخلايـا. وتشكل بروتينات الغشاء الخلـوي حـوالي ٦٠ - ٨٠٪ مـن كتلته بينمـا تشـكل الدهـون ٢٠ - ٤٠٪ وترتبط عادة مع حمض السياليك على هيئة دهون جلايكولية.



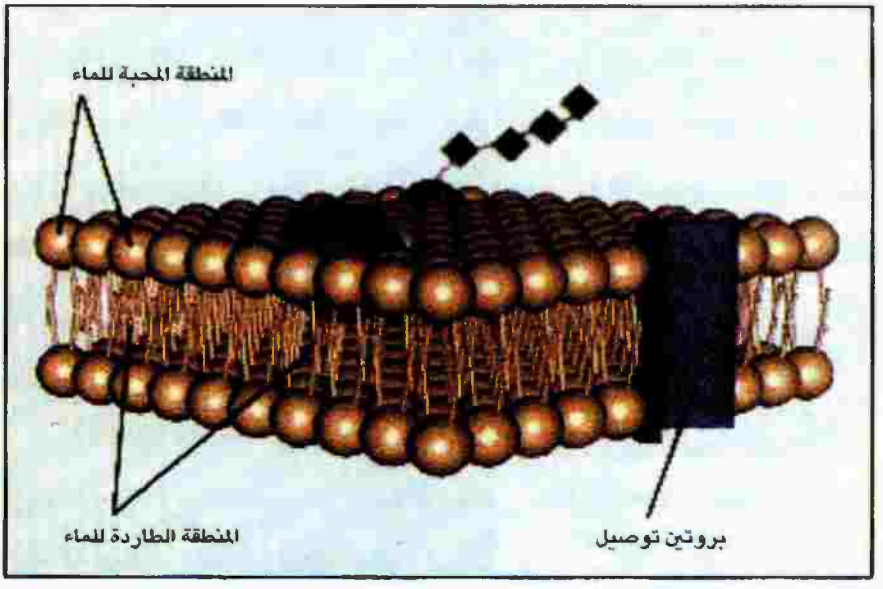
الشكل رقم (١). رسم تخطيطي ملون للخلية الحيوانية كما تظهر بالمجهر الإلكتروني.

يتركب السيتوبلازم Cytoplasm من مادة غروانية هلامية نصف شفافة مكونة بالأساس من الماء ومركبات معقدة وجزئيات عضوية وغير عضوية مثل الكربوهيدرات والحموض الأمينية والبروتينات والحموض النووية وغير ذلك. تنتشر في السيتوبلازم عضيات سيتوبلازمية بعضها عبارة عن تراكيب حية مثل الميتوكوندريا وجهاز جولجي

والجسم المركزي والليسوسوم (الجسم الحال) (تقوم بأنشطة التصنيع والأيض) والبعض الآخر عبارة عن عضيات غير حية مثل الفجوات الغذائية والحبيبات الإفرازية والصبغيات Pigments وغير ذلك.

الميتوكوندريا (الحبيبات الخيطية)

تم وصف الميتوكوندريا Mitochondria لأول مرة عام ١٨٨٢م وهي عضيات سيتوبلازمية تنتشر في سيتوبلازم كل الخلايا الحيوانية وتكثر في المفرزة منها وفي الخلايا التي تستهلك قدراً كبيراً من الطاقة والمختصة بتفاعلات الإختزال والأكسدة التي تنتج عنها الطاقة اللازمة للخلية. كما تلعب دوراً في عملية بناء الحموض الأمينية والحموض الدهنية. وتختلف الميتوكوندريا في الطول والعدد تبعاً لنوع الخلايا بحيث يتراوح أطوالها ما بين (٠,٥ - ١) ميكرومتر قد يصل الطويل منها في بعض الخلايا حتى ١١ ميكرومتر. كما قد يصل عددها إلى نصف مليون ميتوكوندريا في خلية واحدة كما هو الحال في الأميبا بينما لا يزيد عددها عن ٢٥٠٠ ميتوكوندريا في خلايا كبد الفأر. يحيط بالميتوكوندريا غلاف من غشائين مكون من دهون فوسفاتية وبروتينات وأملاح وفيتامينات وكما يحمل العديد من الإنزيمات خاصة تلك الخاصة بالتنفس. ولا بد من الإشارة الى أن الميتوكوندريا تشبه الخلية البكتيرية إلى حد كبير من حيث أن كل منهما يشبه الخلايا بدائية النواة فيما يتعلق بالتركيب الأساسي والسلوك العام ومن حيث أن سلوك الميتوكوندريا في الخلايا حقيقة النواة يشبه التكافل الإجباري للبكتيريا.



الشكل رقم (٢). رسم تخطيطي ملون لتركيب الغشاء الخلوي الكيميائي تبعاً للوصف الفسيفسائي.

الشبكة الإندوبلازمية

الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum عبارة عن أنابيب وتجاويف مفلطحة متفاغرة من الأغشية الخلوية تمتد ما بين غشاء الخلية خلال السيتوبلازم حتى النواة وتوجد في جميع الخلايا ما عدا خلايا الدم الحمراء الناضجة في الثدييات والخلايا بدائية النواة. تحمل سطوح الشبكة الإندوبلازمية جسيمات دقيقة تسمى الرايبوسومات وهي مراكز تكوين البروتينات في الخلية. وتسمى سطوح الشبكة الإندوبلازمية التي تحمل الرايبوسومات بالسطوح الخشنة Rough endoplasmic reticulum أما السطوح التي تخلو من هذه الجسيمات فتسمى بالسطوح الملساء Smooth endoplasmic reticulum وهذه السطوح مختصة في تكوين المواد الدهنية لذا تكثر السطوح الملساء في الشبكة الإندوبلازمية في الخلايا العصبية وفي الأنسجة الطلائية المحتوية على الصبغيات وفي

شبكية العين وفي الألياف العضلية المخططة. تلعب الشبكة الإندوبلازمية دورا كبيرا في تكوين البروتينات، والدهون، وفي نقل كثير من المواد من وإلى الخلية بواسطة انقباض خيوطها. كما تساهم الشبكة الإندوبلازمية في الانقسام المباشر للخلية حيث تشترك بعض أجزائها في تكوين بعض أجزاء الخلايا الناتجة من الانقسام كما أن السطوح الملساء للشبكة الإندوبلازمية تساهم في عملية الإفراز في خلايا بعض الغدد كالغدة الدرقية، إضافة إلى أن الشبكة الإندوبلازمية عبارة عن وسائل نقل داخل الخلية وسطوح لنشاط العديد من الإنزيمات.

وتشاهد الشبكة الإندوبلازمية الخشنة في الخلايا الإفرازية بينما الشبكة الإندوبلازمية الملساء تنحصر في أنواع محددة من الخلايا كالخلايا الطلائية الصبغية والألياف العضلية الملساء وشبكية العين.

الرايبوسومات

تتكون الرايبوسومات Ribosomes أساسا من حمض نووي رايبوزي وبروتين وهي عبارة عن جسيمات تلتصق بالسطوح الخشنة للشبكة الإندوبلازمية وتوجد سابحة بالسيتوبلازم لبعض الخلايا. وكما أن بعض أنواع الخلايا تحتوي على الرايبوسومات دون احتوائها على الشبكة الإندوبلازمية كما هو الحال في البكتيريا. تكثر الرايبوسومات في الخلايا النشطة في تكوين البروتين مثل خلايا الكبد والبنكرياس ويقدر قطر الرايبوسوم بحوالي ١٥٠ أنجستروم.

جهاز جولجي

تم اكتشاف جهاز جولجي Golgi apparatus عام ١٩١٨م من قبل العالم Camillo Golgi. يتركب هذا الجهاز من أغشية مكونة من بروتينات دهنية معقدة تسير متوازية الأضلاع وتنتهي على هيئة فجوات وحويصلات دقيقة ويعتقد أنها تنشأ من

السطوح الملساء للشبكة الإندوبلازمية. يختلف موقع جهاز جولجي في الخلية باختلاف نوع الخلايا، فهو يوجد عادة قرب النواة في الخلايا العصبية وبين غشاء الخلية والنواة في خلايا البنكرياس الإفرازية. يلعب جهاز جولجي دورا كبيرا في عملية الإفراز كإفراز الهرمونات، والإنزيمات، وسوائل الجسم كالحليب وسائل المفاصل Synovial fluid. ويعتقد أنه يلعب دورا كبيرا في إفراز السائل الذي تسبح به الحيوانات المنوية وفي تكوين الحويصلات Vesicles والتي تحوي مواد للاستخدام الداخلي أو للتصدير خارج الخلية (الإفراز) أو لتكوين الليسوسومات.

الجسم المركزي (السنتروسوم)

يوجد الجسم المركزي Centrosome عادة عند طرف النواة قرب جهاز جولجي ويزداد حجمه عندما تصبح الخلية جاهزة للانقسام. وتتصف هذه العضيات بقدرتها على نسخ نفسها ذاتيا. يلعب السنتروسوم دورا كبيرا في انقسام الخلية ويحتوي على جسمين صغيرين يسمى كل منهما المريكز Centriole والذي يعمل على تكوين الألياف المغزلية ويلعب دورا كبيرا في عملية الانقسام غير المباشر (الفتيلي أو الميتوزي) في الخلية. وكما ينشأ عن المريكز في الحيوانات الأولية الجسم الحركي Kinetosome وهو مركز تكوين الأسواط والأهداب في هذه الكائنات. ويشاهد المريكز في معظم الخلايا الحيوانية باستثناء تلك التي لا تنقسم كالخلايا العصبية.

الأجسام الحالة (الليسوسومات)

الأجسام الحالة (الليسوسومات Lysosomes) عبارة عن دقائق سيتوبلازمية أصغر من الميتوكوندريا ولكنها أكبر حجما من الرايبوسومات. يحيط بهذه الدقائق أغشية مكونة من بروتينات دهنية ودهون فوسفاتية وتحتوي هذه الأغشية بداخلها على

إنزيمات هاضمة مثل الفسفاتازات وإنزيم الحمض النووي الرايبوزي وإنزيم الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين وإنزيمات محللة وأخرى غيرها. تساعد هذه الإنزيمات على تحليل المواد الغذائية إلى وحدات صغيرة يمكن أكسدتها بالإنزيمات المؤكسدة بالميتوكوندريا وهي بذلك تلعب دورا كبيرا في بناء الخلية وكذلك في مساعدة الخلايا من التخلص من المواد غير المرغوب بها عن طريق تحليلها بفعل الإنزيمات الهاضمة. ويتم ذلك ضمن ميكانيكية البلعمة Phagocytosis ، والتشرب الخلوي Pinocytosis.

النـــواة

تقوم النواة Nucleus بتنظيم جميع العمليات الحيوية بالخلية عبر المركبات التي تحت إمرة مادتها الوراثية (الجينات) إضافة إلى احتوائها على المادة الوراثية. تحتوي معظم الخلايا على أنوية باستثناء بعض الأنواع مثل كريات الدم الحمراء الناضجة في الثدييات. وتحتوي الخلية عادة على نواة واحدة ولكن قد تشاهد أكثر من نواة واحدة في بعض أنواع الخلايا عديدة النوى Multinucleated cells . توجد النواة عادة في وسط الخلية ولكنها قد توجد عند قواعد الخلايا التي لها وظائف إفرازية مثل الخلايا الكأسية وفي طرف الخلايا التي لها وظائف خزن مثل الخلايا الدهنية. يحيط بالنواة الغلاف النووي Nuclear membrane ، وهو مكون من طبقتين وبه ثقوب دقيقة. وتحتوي النواة بداخلها على سائل نووي يغمر مواد كروماتينية ونوية Nucleolus واحدة أو أكثر والنوية مكونة من حمض نووي رايبوزي ودهون فوسفاتية. وفي طور الانقسام تلتف وتتحلزن المواد الكروماتينية وتظهر الكروموسومات Chromosomes وهذه عبارة عن الوحدات الأساسية التي تحمل عوامل الوراثة. وكل نوع من الكائنات يحتوي على عدد ثابت من الكروموسومات فهي ٤٦ في الإنسان بينما هي ٨ في حشرة الدروسوفيلا

Drosophila . تتكون الكروموسومات من بروتينات الهستون ومن الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين DNA وقليل من إنزيم الفوسفاتاز القلوي.

وتعرف الخلايا التي تحتوي على أنوية واضحة بالخلايا حقيقية النواة Eukaryotic cells بينما الخلايا التي لا تحتوي على أنوية تعرف بالخلايا بدائية النواة Prokaryotic cells مثل البكتيريا. وتمتاز الخلايا حقيقية النواة بدرجة عالية من التنظيم من خلال احتوائها على نظام غشائي داخلي يكون العديد من العضيات منها ما هو دائم كالنواة والميتوكوندريا وجهاز جولجي والبلاستيدات ومنها مؤقت مثل الليسوسومات المحتوية على الإنزيمات الهاضمة إضافة إلى احتواء هذه الخلايا على هيكل خلوي Cytoskeleton مكون بالأساس من ألياف بروتينية. ويرتبط الحمض النووي منقوص الأكسجين في الخلايا حقيقية النواة مع بروتينات مشكلة الكروماتين يحيط به الغلاف النووي. أما الخلية بدائية النواة فإنها لا تحتوي على عضيات غشائية ولا يحيط بمحتواها من الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين غلاف نووي وإنما يتجمع على هيئة كتلة دائرية في جزء من سيتوسول Cytosol الخلية يعرف Nucleoid.

أنواع الانقسامات في الخلية

تقبل جميع الخلايا الحيوانية الانقسام باستثناء الخلايا العصبية وكريات الدم البيضاء متعددة أشكال النواة . وتتكاثر الخلايا الحيوانية بثلاثة أنواع من الانقسامات هي : انقسام الخلية المباشر Amitosis وانقسام الخلية غير المباشر (الميتوزي) Mitosis ، والانقسام الاختزالي Meiosis . يحدث الانقسام المباشر في خلايا الحيوانات الدنيا وفي بعض خلايا الحيوانات الراقية . وهذا الانقسام بسيط حيث تنقسم النواة بعد ظهور الكروموسومات ثم يختنق السيتوبلازم وينقسم إلى جزأين يحيط كل منهما بنواة .

الانقسام الميتوزي (غير المباشر)

تتكاثر معظم الخلايا الحيوانية ما عدا الخلايا التناسلية بالانقسام الميتوزي وينتج عن هذا الانقسام خليتان متساويتان تحتوي كل منهما على نفس عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية الأم حيث يتضاعف عدد الكروموسومات في الخلية أثناء مراحل الانقسام المختلفة ثم تنقسم بالتساوي . وفيما يلي تلخيص لأطوار الانقسام الميتوزي (الشكل رقم ٣) .

الطور التمهيدي (الطور الأول) Prophase

في هذا الطور تتضاعف محتويات النواة من الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين وتتحلل الكروموسومات من المواد الكروماتينية وتظهر على شكل حلزوني. كما تختفي في هذا الطور كل من النوية والغشاء النووي ويتحرك كل مريكز Centriole إلى أحد طرفي الخلية ليقابل المريكز الآخر الذي تحرك للطرف المعاكس وتمتد بينهما خيوط مترابطة مكونة المغزل Spindle وكما تخرج منهما خيوط غير مترابطة تعرف بالنجمي Aster .

الطور الوسطي Metaphase

تصطف الكروموسومات في هذا الطور في وسط الخلية مكونة القرص الاستوائي Equatorial plate ويصبح كل كروموسوم مكونا من كروماتيدين ملتصقين عند الجسيم المركزي (السنترومير) .

الطور الانفصالي Anaphase

ينشق في هذا الطور كل سنترومير وينتج عن ذلك كروموسومان من كل كروموسوم أصلي وبذلك يتضاعف عدد الكروموسومات في هذا الطور . ينجذب كل

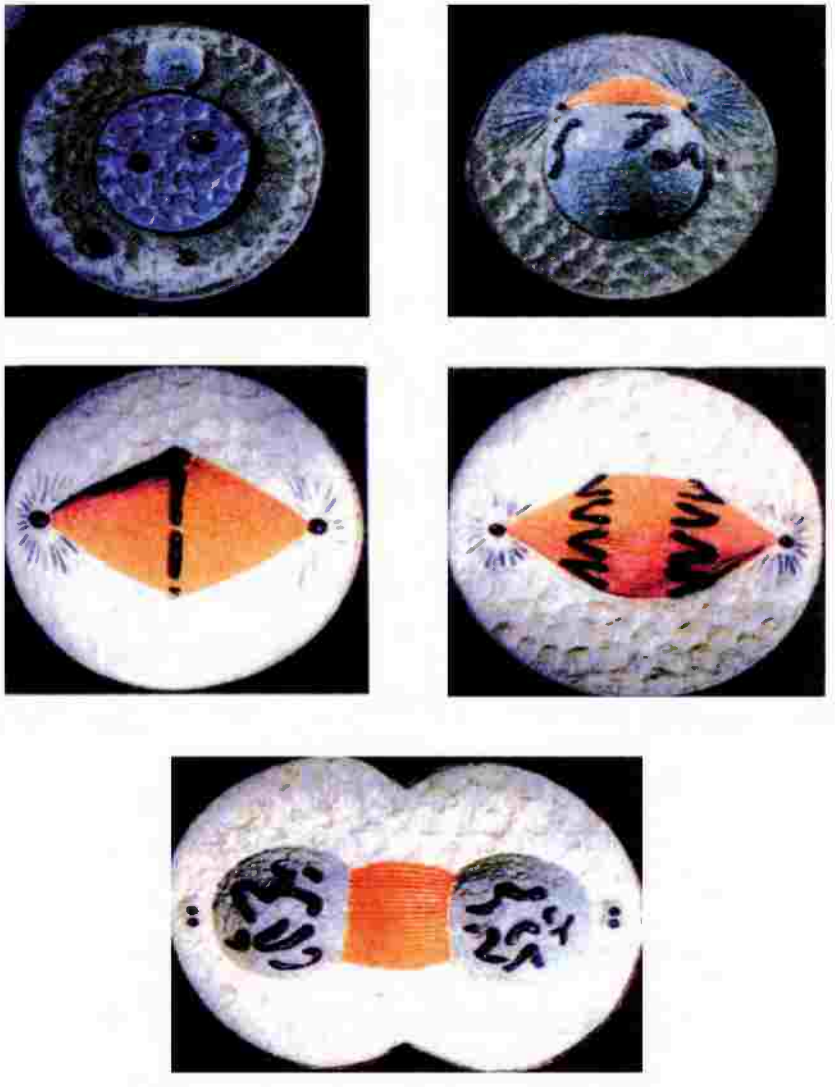
توأم من الكروموسومات بوساطة خيوط المغزل إلى أحد قطبي الخلية مقابلا لتوأمه الآخر في القطب الآخر للخلية .

الطور النهائي Telophase

تتكون في هذا الطور نواتان يحيط بكل منهما غلاف نووي وكما تختفي خيوط المغزل والنجمي ويختنق السيتوبلازم ومن ثم لا تلبث أن تفقد الكروموسومات شكلها الحلزوني وتعود إلى هيئة الكروماتين . بعد ذلك ينقسم السيتوبلازم إلى قسمين يحاط كل منهما بغشاء ويحتوي على بعض العضيات السيتوبلازمية وينسخ كل مريكز نفسه وتدخل الخلية مرحلة الطور البيني Interphase ما بين الانقسامات .

ولابد من الإشارة إلى أن الخلايا بعد الانقسام لا تصبح خاملة كما يتبادر للذهن ولكنها تستمر في نشاطها للقيام بكافة وظائفها إضافة إلى تحضير نفسها للانقسام الميتوزي التالي وما يتطلب ذلك من استنساخ المزيد من المادة الوراثية والبروتينات والعضيات السيتوبلازمية للبدء بالانقسام الميتوزي التالي . ويطلق على زمن الطور البيني إضافة إلى الزمن الذي يستغرقه الانقسام الميتوزي التالي له بدورة الخلية Cell cycle . ويشتمل الطور البيني على المراحل الثلاث التالية :

١ ـ الفترة التالية للانقسام الميتوزي السابق Presynthetic gap ويرمز لها بالرمز G_1 ومداها بداية الزمن التالي للانقسام مباشرة وحتى البدء باستنساخ المادة الوراثية . وفي نهاية هذه المرحلة تبدأ بعض العضيات السيتوبلازمية كالرايبوسومات بمضاعفة نفسها .



الشكل رقم (٣). صورة فوتوغرافية توضح مراحل الانقسام الميتوزي :

١ ــ الطور البيني . ٢ ــ الطور التمهيدي .

٣ ــ الطور الوسطي . ٤ ــ الطور الانفصالي .

٥ ــ الطور النهائي .

وهذه الفترة عبارة عن فترة تحضيرية للمرحلة التالية ولكنها لا تشهد استنساخ أي كمية من المادة الوراثية .

٢ ـ فترة استنساخ الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين وتعرف بـ S-phase ويرمز لها بالرمز (S) ويصاحب هذه الفترة أيضا مضاعفة للعضيات السيتوبلازمية.

٣ ـ الفترة الفاصلة الممتدة ما بين بداية تصنيع المادة الوراثية وبداية الانقسام الميتوزي وتعرف بمرحلة ما بعد الاستنساخ Postreplication ويرمز لها بالرمز G_2 .

وتشتمل دورة الخلية على مجموع ما تستغرقه الفترات الثلاث ($G_1 + G_2 + G_3$) إضافة إلى الزمن الذي يستغرقه الانقسام الميتوزي M-phase التالي . ويتفاوت الزمن الذي تستغرقه دورة الخلية ، وفي معظم الأحيان تستغرق ١٨ـ٢٤ ساعة بينما لا تزيد عن ٢٠ دقيقة في خلايا بعض الكائنات وكما قد تصل إلى عدة أيام أو أسابيع في أنواع أخرى . وفي كل الأحوال فإن الزمن الذي يستغرقه الانقسام الميتوزي أقصر بكثير من أي من فترات الطور البيني بينما يكون أطولها عادة الفترة (G_1) التالية للانقسام الميتوزي والسابقة لفترة استنساخ المادة الوراثية .

الانقسام الميوزي (الاختزالي)

يحدث الانقسام الميوزي في خلايا الأعضاء التناسلية الذكرية والأنثوية (المبايض والخصى) ولا يحدث البتة في الخلايا البدنية Somatic cells . وينتج عن هذا الانقسام خلايا تحتوي على نصف عدد الكروموسومات في الخلية الأم بسبب أن عدد الكروموسومات يتضاعف مرة واحدة لكن النواة تنقسم مرتين حيث ينتج أربع أنوية من النواة الأصلية يحتوي كل منهما على نصف عدد الكروموسومات لذلك يطلق هذا النوع من الانقسام بالانقسام الاختزالي . يتكون الانقسام الميوزي من انقسامين

متتاليين يعرف الأول بالانقسام الميوزي الأول والآخر بالانقسام الميوزي الثاني حيث يتضاعف عدد الكروموسومات مرة واحدة بينما تنقسم الخلايا مرتين .

الانقسام الميوزي الأول First meiotic division

يؤدي الانقسام الميوزي الأول إلى تكوين خليتين من الخلية الأم تحتوي كل منهما على نصف عدد الكروموسومات. وكل كروموسوم يحتوي على كروماتيدين، والخلايا الناتجة من الانقسام الميوزي الأول هي الخلايا المنوية الثانوية Secondary spermatocytes في الذكر والحويصلات البيضية Oocytes في الأنثى . ويتكون الانقسام الميوزي الأول من المراحل التالية (الشكل رقم ٤):

المرحلة التمهيدية الأولى Prophase I : يمكن تمييز خمسة أطوار في المرحلة التمهيدية الأولى :

١ ــ الطور القلادي Leptotene

تظهر الكروموسومات في الخلايا ثنائية العدد الكروموسومي Diploid cells مفردة وواضحة .

٢ ــ الطور التزاوجي Zygotene

تصطف الكروموسومات المتماثلة بشكل متوازي وتظهر متنافرة فيما بينها مما يؤدي إلى تباعد الأزواج عن بعضها باستثناء نقاط معينة تدعى بالتصالبات Chiasmata.

٣ ــ الطور الضام Pachytene

ينقسم كل كروموسوم من الكروموسومات المتوازية إلى كروماتيدين يبقيان مرتبطين بواسطة السنترومير وتبدأ هنا عملية عبور المادة الوراثية بين الكرماتيدين الداخليين من الكروماتيدات الأربع Tetrad .

٤ ــ الطور الانفراجي Diplotene

يبدأ كل كروماتيدان في الكروموسوم الواحد بالإبتعاد عن بعضهما من الأطراف الحرة حيث يتم عبور المادة الوراثية وتبادلها بين الكروموسومات الأبوية والأمية المتجاورة .

٥ ــ الطور التشتتي Diakinesis

في هذا الطور يصبح كل كروموسوم مكون من كروماتيد نقي وآخر خليط بسبب عبور المادة الوراثية وتظهر الخيوط المغزلية وتختفي النواة والغلاف النووي .

المرحلة الوسطية الأولى Metaphase I : تصطف الكروموسومات المتجانسة في منتصف الخلية ويكون كل كروموسوم مكون من كروماتيدين متصلين عند السنترومير .

المرحلة الانفصالية المتأخرة Anaphase I : تنفصل الكروموسومات إلى مجموعتين متماثلتين وتتحرك كل مجموعة إلى قطب معاكس من الخلية ولا يحدث انقسام للسنترومير ويبقى كل كروموسوم مكون من كروماتيدين مرتبطين بالسنترومير .

المرحلة النهائية الأولى Telophase I : يظهر الغلاف النووي حول كل مجموعة من الكروموسومات حيث تحتوي كل نواة على نصف عدد الكروموسومات في الخلية الأم .

فترة السكون Interkinesis : تشبه هذه المرحلة الطور البيني بالانقسام الميتوزي إلا أنها لا تشتمل على استنساخ للمادة الوراثية ولا تشهد تشكيل

كروماتيدات جديدة وتعتبر هذه المرحلة الفاصلة بين كل من الانقسام الميوزي الأول والانقسام الميوزي الثاني .

الانقسام الميوزي الثاني Second meiotic division : يتم هذا الانقسام في الخلايا المنوية الثانوية (في الذكر) أو الحويصلات البيضية (في الأنثى) الناتجة من الانقسام الميوزي الأول ويشتمل على المراحل التالية :

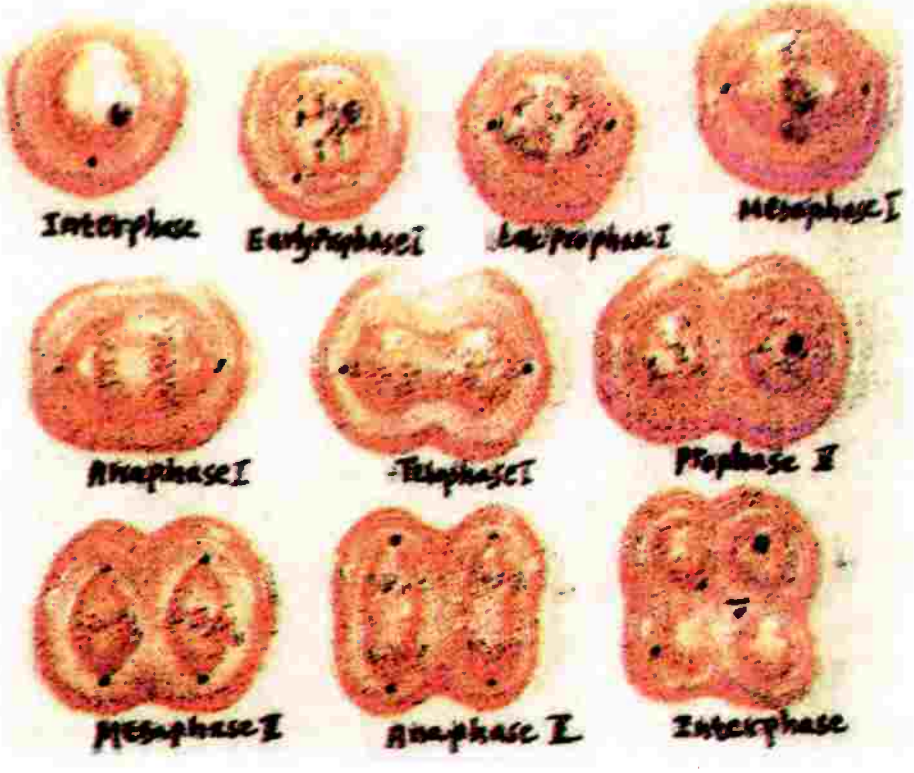
المرحلة التمهيدية الثانية Prophase II : هذه مرحلة قصيرة للغاية تشهد تنافر سنتروليي الخلية ويتحرك كل منهما إلى الطرف الآخر من الخلية حيث تظهر خيوط المغزل ويختفي الغلاف النووي ويظهر كل كروموسوم مكون من كروماتيدين مرتبطين بالسنترومير .

المرحلة الاستوائية الثانية Metaphase II : تصطف الكروموسومات بشكل طولي في منتصف الخلية ويظهر كل كروموسوم مكون من كروماتيدين مرتبطين بالسنترومير ويخرج من كل سنترومير خيوط باتجاه كل قطب من الخلية. وفي نهاية هذه المرحلة ينقسم السنترومير بشكل طولي على محور الكروموسوم .

المرحلة الانفصالية الثانية Anaphase II : يبتعد كل كروماتيد عن مثله إلى الإتجاه المعاكس من الخلية ويصبح كروموسوما جديدا .

المرحلة النهائية الثانية Telophase II : يظهر الغلاف النووي حول كل مجموعة من الكروموسومات ويحدث اختناق بالسيتوبلازم ، وتنتج أربع حيوانات منوية بالذكر وبالأنثى بويضة ، وثلاثة أجسام قطبية Polar bodies ، والخلايا الناتجة تكون أحادية العدد الكروموسومي Haploid cells .

ولا بد من الإشارة إلى أنه إضافة إلى استخدام كل من المجهر الضوئي والإلكتروني فإن هنالك العديد من التقنيات المستخدمة في دراسة الخلية كالحيل الكيميائية والفيزيائية وإعداد الرسومات باستخدام الكاميرا لوسيدا Camera lucida. كما أن هنالك الوسائل المتعددة للعرض التي يمكن استخدامها كأجهزة العرض Projectors التي تساعد على استقبال الصورة على شاشة أو العرض باستخدام دائرة تلفزيونية أو التسجيل بدائرة تتضمن جهاز كمبيوتر.



الشكل (٤). صور فوتوغرافية لمراحل الانقسام الميوزي .