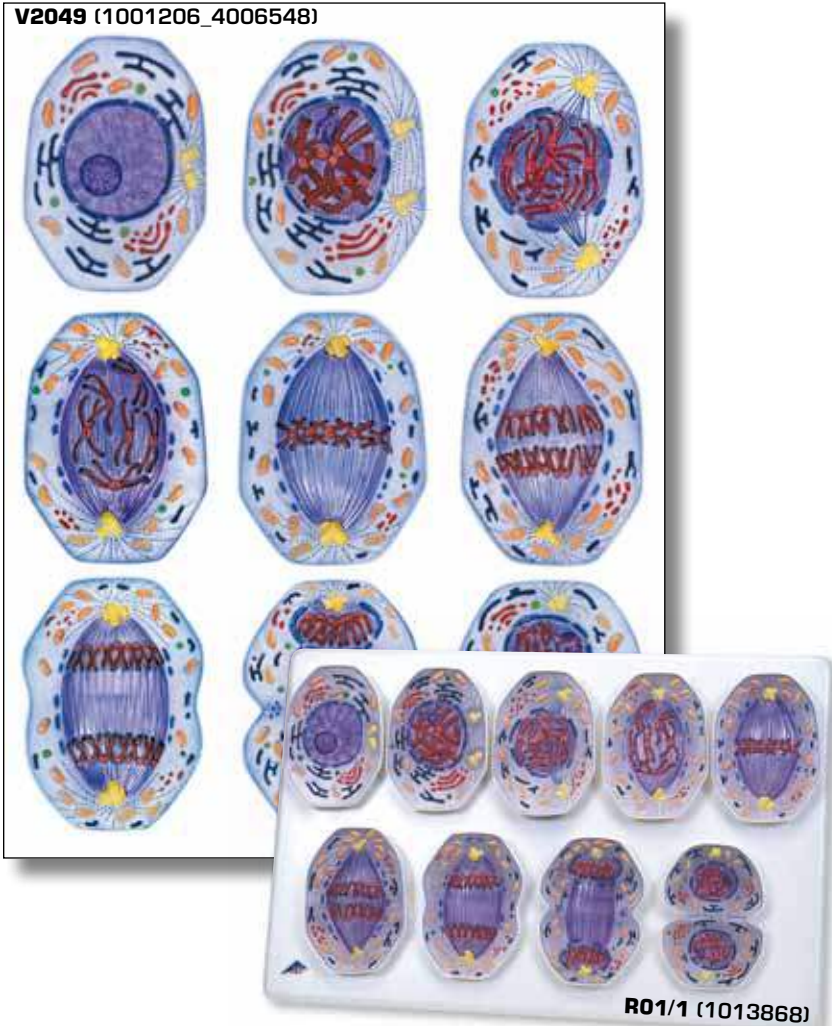


V2049 (1001206_4006548)



R01/1 (1013868)

R01/1

V2049

(1013868)
(1001206, 4006548)

Mitosis, also referred to as indirect nuclear division or equational division, is the most widespread type of cell reproduction. In this process, one cell (mother or parent cell) is divided into two daughter cells with identical DNA (=genes containing hereditary information) and the same number of chromosomes. Mitosis is vital for the growth and preservation of all living organisms.

The human organism is made up of approx. 10^{15} to 10^{16} cells. In fast-growing tissues (e.g. intestinal epithelium) cells are divided by mitosis approx. every 12-35 hours, in slower-growing tissues (e.g. tendons) only approx. every 3-6 months.

In the cycle of a cell, a basic distinction is made between the **interphase**, referring to the period between two cell divisions, and the phase of actual division, called **mitosis**.

A further phase not forming part of this cycle is referred to as the G_0 phase. This is a phase of cell growth or differentiation without preparations for a division. In this phase the cell can irreversibly lose its power of division (e.g. muscle cells), or, after a G_0 phase of variable length, it can re-enter the cell cycle which then begins with the G_1 phase.

The interphase comprises 3 stages:

- **G_1 phase (presynthesis)**
In this phase the cell begins to prepare for the forthcoming mitosis. The growth of all parts of the cell is activated and the centrioles are duplicated. In fast growing cells the duration of this phase is approximately 3 hours.
- **S phase (synthesis)**
In this phase the amount of DNA is doubled by replication as a further preparation for the forthcoming cell division. In fast growing cells the duration of this phase is approximately 8 hours.
- **G_2 phase (postsynthesis)**
At this stage the last preparations for entering into mitosis are made. The chromosomes are condensed and the DNA is "proofread". At the end of this phase, cells in human/animal tissue cut off the cell contacts with neighbouring cells, round off and frequently increase their volume through the intake of fluid. In fast-growing cells the duration of this phase is approx. 4 hours.

The mitotic cycle comprises the following phases:

- **Prophase**
 - **Early prometaphase**
 - **Later prometaphase**
 - **Metaphase**
 - **Early anaphase**
 - **Later anaphase**
 - **Telophase**
 - **Cytokinesis**
- Duration of all phases in fast-growing cells: approx. 1 hour

The 3B Scientific® model series on Mitosis (product no. R01) and the wall chart on mitosis (V2049M, V2049U) show a typical mammal cell at an enlargement of approximately 10,000 times. In the lower third of the models/illustrations the cell organelles are shown as if opened up. As this is a 2 dimensional model not all chromatids will be shown in the visible plane.

The 3B Scientific® model series on mitosis is supplied in a storage system, which is equipped with a hanging device. The model series can thus be simply hung on a wall in order to save space. The models also have magnets at the rear so that they can be arranged on magnetic boards in the classroom for teaching purposes.

At the end of this description you will find illustrations of the 9 phases included. You can use these to make photocopies for your lessons. By colouring, labelling and correctly arranging the individual phases your students can easily review and memorize what they have learned.

Free colour illustrations of the individual stages are also available on the Internet at <http://www.3bscientific.com>

1. Interphase, Stage of the G₁ Phase

Inside the cell the nucleus with the nucleolus (1) and its nuclear membrane (2) can be seen. The nucleus also contains the not yet helical DNA (3) with the genetic information.

The cell itself receives its stability and shape from very fine tubes, the so-called microtubules (4) extending through the cytoplasm. The microtubules control, among other things, the cell movements and the intracellular transport processes.

In the cytoplasm, the endoplasmic reticulum (5) can be seen. This is an intertwined tube system mainly in charge of the innercellular transport of water and ions. The membrane of the endoplasmic reticulum has ribosomes attached to it, whose function is the production of proteins.

The Golgi complex (or apparatus) (6) can also be referred to as “cell gland”. It is made up of stacks of layered hollow sacs (Golgi cisternae), which swell up to vesicles and “pinch off” (Golgi vesicles) (7). The Golgi complex receives membrane components and enzymes from the endoplasmic reticulum and its main function is to collect and distribute secretions and produce lysosomes (digestion vesicles) (8).

The main job of the lysosomes is breaking down cell components. This can occur either from within the cell towards the outside (= exocytosis) or within the cell (= intracellular digestion). The organelles in charge of producing energy for the cell are the mitochondria (9).

The job of the centrioles (10) is to build up the cleavage spindle. They are hollow cylinders made up of longitudinally arranged tubes (microtubules).

2. Prophase

The cell prepares for division and abandons its functions. The cytoplasm becomes less glutinous as the stabilizing microtubules are broken down. The permeability of the cell surface is increased in order to allow the intake of liquid from the surroundings. The microtubular complex, the basis of the cytoskeleton, dissolves. The nuclear membrane (1) and the nucleolus (2) also begin to dissolve. In the nucleus, the DNA begins to condense and form precisely defined chromosomes. Each chromosome has been replicated in the preceding S phase and now consists of two sister chromatids (3). Each of these sister chromatids contains a specific DNA sequence, the so-called centromere (4), which is in charge of the separation of the daughter cells. The pairs of centrioles (5), which were duplicated in the interphase, begin to move away from one another in the direction of the two cell poles. They form the so-called central spindle (6) between themselves, which consists of many microtubules. The mitochondria (7) and lysosomes (8) present in this area are pushed aside.

3. Early Prometaphase

In the early prometaphase the nucleolus dissolves and the nuclear membrane dissolves into membrane vesicles (1). The chromosomes (2) inside the nucleus can be clearly seen.

The two centrioles (3) continue on their path towards the poles. The microtubules (4) of the central spindle, which were so far located outside the nucleus, can now penetrate into the area of the nucleus and attach to the kinetochores (5) located in the middle of each duplicated chromosome. The kinetochores are protein complexes, which have formed for this purpose at the centromeres.

The endoplasmic reticulum (6) and the Golgi complex (7) begin to dissolve.

4. Later Prometaphase

Now the nuclear membrane (1) has dissolved almost completely and the centriole pairs (2) have reached the two poles of the cell opposite each other. The microtubules (3) of the central spindle begin to align the chromosomes (4) which are connected to them.

The mitochondria (5) and lysosomes (6) that were pushed aside line up evenly within the cytoplasm again.

The endoplasmic reticulum (7) and the Golgi complex (8) are almost completely dissolved now.

5. Metaphase

The microtubules of the central spindle (1) have now attached precisely to the kinetochores (2) of each doubled chromosome (3). During the metaphase the chromosomes become shorter and align exactly in the middle between both poles of the central spindle. They form the so-called metaphase plate. Viewed from the top, they have a star-like shape (monaster or “mother” star).

6. Early Anaphase

In the early anaphase the previously duplicated chromatids (1) separate. In this process, the sister chromatids containing the same genetic information are precisely separated, forming independent chromosomes. This separation begins at the pairs of kinetochores (2), which is where the traction fibres of the central spindle are attached. From here, the chromosomes are pulled slowly towards the centrioles (4) located at the cell poles, moving along the microtubules (3) which create a traction effect as they become shorter.

7. Later Anaphase

In the later anaphase the chromosomes (1) have reached the cell poles and now form two “daughter” stars. The microtubules (2) of the central spindles connected with the kinetochores at the two centrioles (3) opposite of each other recede and disconnect. The microtubules (4) that are not connected to chromosomes now become longer, thus increasing the distance between the centrioles and elongating the cell. At the equator level, the beginning stage of a cleavage furrow (5) becomes visible.

8. Telophase

In the telophase the microtubules connected with the kinetochores dissolve completely. The only remaining microtubules (1) are those connecting the two cell poles with each other. A new nuclear membrane (2) begins to form around the two separated chromosome pairs at the cell poles. The condensed DNS (3) begins to elongate again and a new nucleolus begins to form.

The cleavage furrow at the equator level is condensed and constricts to form a ring (4), which actively condenses the cytoplasm and leads to a further division of the new cells which are about to form.

9. Cytokinesis

The chromosomes (1) become even thinner and longer. The endoplasmic reticulum (2) and the Golgi complex (3) are redeveloped.

The body of the cell is now divided exactly in the middle, at the ring constriction (4) between the two new daughter nuclei. During cytokinesis, a thin cytoplasm bridge frequently remains between the two newly created cells. Once both daughter cells have separated completely, cytokinesis has been completed.

The two newly created daughter cells are smaller than the mother cell and reach their final size through growth. The daughter cells enter the interphase again, before duplicating once more through mitotic division.

Die Mitose, auch indirekte Kernteilung oder Äquationsteilung genannt, ist die Form der Zellvermehrung, die am meisten verbreitet ist. Dabei wird eine Zelle (Mutterzelle) in 2 Tochterzellen mit identischer DNA (= Gene mit Erbsubstanz) und gleicher Anzahl der Chromosomen geteilt. Die Mitose ist Grundlage des Wachstums und der Erhaltung aller lebenden Organismen.

Der menschliche Organismus besteht aus ca. 10^{15} bis 10^{16} Zellen. In schnell wachsendem Gewebe (z.B. Darmepithel) teilen sich die Zellen durch die Mitose etwa alle 12-35 Stunden, in schwächer wachsendem Gewebe (z.B. Sehnen) nur etwa alle 3-6 Monate.

Grundsätzlich wird der Zyklus einer Zelle unterschieden in die **Interphase**, die den Zeitraum zwischen zwei Zellteilungen kennzeichnet, und der eigentlichen Teilungsphase, der **Mitosephase**.

Außerhalb dieses Zyklus gibt es noch eine weitere Phase, die G_0 -Phase. Dies ist eine Wachstums- oder Differenzierungsphase der Zelle ohne Teilungsvorbereitung. In dieser Phase kann die Zelle ihre Teilungspotenz irreversibel verlieren (z.B. Muskelzellen), oder aber sie tritt nach einer verschieden langen G_0 -Phase erneut in den Zellzyklus ein, der dann mit der G_1 -Phase beginnt.

Die Interphase gliedert sich in 3 Stadien:

- **G_1 -Phase (Präsynthesephase)**
In dieser Phase beginnt die Zelle, sich auf die bevorstehende Mitose vorzubereiten. Das Wachstum sämtlicher Bestandteile der Zelle wird aktiviert und die Centriolen werden verdoppelt. Diese Phase dauert bei schnellwachsenden Zellen etwa 3 Stunden.
- **S-Phase (Synthesephase)**
Hier erfolgt die Verdoppelung der DNA-Menge durch Replikation als weitere Vorbereitung für die bevorstehende Zellteilung. Diese Phase dauert bei schnellwachsenden Zellen etwa 8 Stunden.
- **G_2 -Phase (Postsynthesephase)**
In diesem Stadium werden die letzten Vorbereitungen zum Eintritt in die Mitose getroffen. Die Chromosomen verdichten sich und die DNA wird „Korrektur gelesen“. Am Ende dieser Phase lösen die Zellen in menschlichem/tierischem Gewebe die Zellkontakte zu benachbarten Zellen, runden sich ab und vergrößern häufig ihr Volumen durch die Aufnahme von Flüssigkeit. Diese Phase dauert bei schnellwachsenden Zellen etwa 4 Stunden.

Die Mitosephase gliedert sich in folgende Stadien:

- **Prophase**
- **Frühe Prometaphase**
- **Späte Prometaphase**
- **Metaphase**
- **Frühe Anaphase**
- **Späte Anaphase**
- **Telophase**
- **Zytokinese**

Dauer aller Stadien bei schnellwachsenden Zellen: etwa 1 Stunde

Die 3B Scientific® Modellserie zur Mitose (Produktnummer R01) und die Wandkarte zur Mitose (V2049M, V2049U) zeigt eine typische Säugetierzelle in circa 10.000-facher Vergrößerung. Im unteren Drittel der Modelle/Abbildungen sind die Zellorganellen eröffnet dargestellt. Aufgrund der Zweidimensionalität dieses Modells sind in der Schnittebene nicht alle Chromatiden sichtbar.

Die 3B Scientific® Modellserie zur Mitose wird in einem Aufbewahrungssystem geliefert, das mit einer Aufhängevorrichtung versehen ist. So können Sie die Modellserie auch einfach und platzsparend an einer Wand aufhängen. Die Modelle sind auf der Rückseite mit Magneten versehen und können für den

Am Ende dieser Beschreibung finden Sie Abbildungen der 9 dargestellten Stadien, die Sie als Kopiervorlage für Ihren Unterricht nutzen können. Durch Ausmalen, Beschriften und richtiges Anordnen der einzelnen Stadien können Ihre Schüler das Erlernte leicht nachvollziehen und vertiefen.

Farbige Abbildungen der einzelnen Stadien erhalten Sie auch kostenlos im Internet unter:
<http://www.3bscientific.com>

1. Interphase, Stadium der G₁-Phase

Im Inneren der Zelle ist der Zellkern mit dem Nucleolus (Kernkörperchen) (1) und seiner Kernhülle (2) sichtbar. Im Zellkern befindet sich die noch entspiralisierte DNS (3) mit der genetischen Information.

Die Zelle selbst erhält ihre Stabilität und Form durch sehr dünne Röhren, die sogenannten Mikrotubuli (4), die das Zellplasma durchspannen. Die Mikrotubuli steuern u.a. die Zellbewegung und die intrazellulären Transportprozesse.

Im Zellplasma ist das Endoplasmatische Retikulum (5) erkennbar. Dies ist ein verschlungenes Röhrensystem, das vorwiegend der Lipidsynthese und dem innerzellulären Transport von Ionen dient. An der Membran des rauen Endoplasmatischen Retikulums befinden sich Ribosomen, die für die Produktion von Proteinen zuständig sind.

Der Golgi-Apparat (6) wird auch als „Zelldrüse“ bezeichnet. Er besteht aus Stapeln von ineinander geschichteten Hohlkörpern (Golgi-Cisternen), die zu kleinen Bläschen auftreiben und sich abgliedern (Golgi-Vesikel) (7). Der Golgi-Apparat erhält vom Endoplasmatischen Retikulum Membranbausteine und Enzyme angeliefert. Seine Hauptaufgabe besteht im Verpacken, Sammeln und Abtransport von Sekreten und in der Bildung von Lysosomen (Verdauungsbläschen) (8).

Hauptaufgabe der Lysosomen ist der Abbau von Zellbestandteilen. Dies kann entweder von der Zelle nach außen (= Exozytose) oder innerhalb der Zelle (=intrazelluläre Verdauung) geschehen. Für die Energiegewinnung der Zelle sind die Mitochondrien (9) zuständig.

Aufgabe der Centriolen (10) ist es, die Teilungsspindel aufzubauen. Sie sind Hohlzylinder, die aus längsverlaufenden Röhren (Mikrotubuli) bestehen.

2. Prophase

Die Zelle bereitet sich auf die Teilung vor und fährt ihre spezifischen Funktionen für den Organismus herunter. Das Zytoskelett verändert sich, wodurch das Zytoplasma beweglicher wird. Die Durchlässigkeit der Zelloberfläche wird erhöht, um Flüssigkeit aus der Umgebung aufzunehmen. Der Mikrotubulusapparat, die Grundlage des Zytoskeletts, löst sich auf. Die Kernhülle (1) und der Nucleolus (2) beginnen ebenfalls, sich aufzulösen. Im Zellkern beginnt sich die DNS zu kondensieren und genau definierte Chromosomen zu bilden. Jedes Chromosom hat sich in der vorangegangenen S-Phase repliziert und besteht nun aus jeweils zwei Schwesterchromatiden (3). Jedes dieser Schwesterchromatiden enthält eine bestimmte DNA-Sequenz, das sogenannte Centromer (4), das für die Trennung der Tochterzellen erforderlich ist. Die Centriolenpaare (5), welche in der Interphase verdoppelt wurden, beginnen, voneinander weg in Richtung der beiden Zellpole zu wandern. Sie bilden zwischen sich die sogenannte Zentralspindel (6), die aus vielen Mikrotubuli besteht. Die in diesem Bereich liegenden Mitochondrien (7) und Lysosome (8) werden zu den Seiten gedrängt.

3. Frühe Prometaphase

In der frühen Prometaphase löst sich der Nucleolus auf und die Kernhülle zerfällt in Membranvesikel (1). Die Chromosomen (2) im Inneren des Zellkerns sind deutlich erkennbar.

Die beiden Centriolen (3) setzen ihren Weg polwärts weiter fort. Die bis jetzt außerhalb des Kerns liegenden Mikrotubuli (4) der Zentralspindel können nun in den Kernbereich eindringen und heften sich jetzt an die Mitte eines jeden verdoppelten Chromosoms an den Kinetochoren (5) an. Die Kinetochoren sind

Unterricht an den Magnettafeln im Klassenzimmer angeordnet werden.

Am Ende dieser Beschreibung finden Sie Abbildungen der 9 dargestellten Stadien, die Sie als Kopiervorlage für Ihren Unterricht nutzen können. Durch Ausmalen, Beschriften und richtiges Anordnen der einzelnen Stadien können Ihre Schüler das Erlernte leicht nachvollziehen und vertiefen.

Farbige Abbildungen der einzelnen Stadien erhalten Sie auch kostenlos im Internet unter:

<http://www.3bscientific.com>

1. Interphase, Stadium der G₁-Phase

Im Inneren der Zelle ist der Zellkern mit dem Nucleolus (Kernkörperchen) (1) und seiner Kernhülle (2) sichtbar. Im Zellkern befindet sich die noch entspiralisierte DNS (3) mit der genetischen Information.

Die Zelle selbst erhält ihre Stabilität und Form durch sehr dünne Röhren, die sogenannten Mikrotubuli (4), die das Zellplasma durchspannen. Die Mikrotubuli steuern u.a. die Zellbewegung und die intrazellulären Transportprozesse.

Im Zellplasma ist das Endoplasmatische Retikulum (5) erkennbar. Dies ist ein verschlungenes Röhrensystem, das vorwiegend der Lipidsynthese und dem innerzellulären Transport von Ionen dient. An der Membran des rauen Endoplasmatischen Retikulums befinden sich Ribosomen, die für die Produktion von Proteinen zuständig sind.

Der Golgi-Apparat (6) wird auch als „Zelldrüse“ bezeichnet. Er besteht aus Stapeln von ineinander geschichteten Hohlkörpern (Golgi-Cisternen), die zu kleinen Bläschen auftreiben und sich abgliedern (Golgi-Vesikel) (7). Der Golgi-Apparat erhält vom Endoplasmatischen Retikulum Membranbausteine und Enzyme angeliefert. Seine Hauptaufgabe besteht im Verpacken, Sammeln und Abtransport von Sekreten und in der Bildung von Lysosomen (Verdauungsbläschen) (8).

Hauptaufgabe der Lysosomen ist der Abbau von Zellbestandteilen. Dies kann entweder von der Zelle nach außen (= Exozytose) oder innerhalb der Zelle (=intrazelluläre Verdauung) geschehen. Für die Energiegewinnung der Zelle sind die Mitochondrien (9) zuständig.

Aufgabe der Centriolen (10) ist es, die Teilungsspindel aufzubauen. Sie sind Hohlzylinder, die aus längsverlaufenden Röhren (Mikrotubuli) bestehen.

2. Prophase

Die Zelle bereitet sich auf die Teilung vor und fährt ihre spezifischen Funktionen für den Organismus herunter. Das Zytoskelett verändert sich, wodurch das Zytoplasma beweglicher wird. Die Durchlässigkeit der Zelloberfläche wird erhöht, um Flüssigkeit aus der Umgebung aufzunehmen. Der Mikrotubulusapparat, die Grundlage des Zytoskeletts, löst sich auf. Die Kernhülle (1) und der Nucleolus (2) beginnen ebenfalls, sich aufzulösen. Im Zellkern beginnt sich die DNS zu kondensieren und genau definierte Chromosomen zu bilden. Jedes Chromosom hat sich in der vorangegangenen S-Phase repliziert und besteht nun aus jeweils zwei Schwesterchromatiden (3). Jedes dieser Schwesterchromatiden enthält eine bestimmte DNA-Sequenz, das sogenannte Centromer (4), das für die Trennung der Tochterzellen erforderlich ist. Die Centriolenpaare (5), welche in der Interphase verdoppelt wurden, beginnen, voneinander weg in Richtung der beiden Zellpole zu wandern. Sie bilden zwischen sich die sogenannte Zentralspindel (6), die aus vielen Mikrotubuli besteht. Die in diesem Bereich liegenden Mitochondrien (7) und Lysosome (8) werden zu den Seiten gedrängt.

3. Frühe Prometaphase

In der frühen Prometaphase löst sich der Nucleolus auf und die Kernhülle zerfällt in Membranvesikel (1). Die Chromosomen (2) im Inneren des Zellkerns sind deutlich erkennbar.

Die beiden Centriolen (3) setzen ihren Weg polwärts weiter fort. Die bis jetzt außerhalb des Kerns liegenden Mikrotubuli (4) der Zentralspindel können nun in den Kernbereich eindringen und heften sich jetzt

an die Mitte eines jeden verdoppelten Chromosoms an den Kinetochoren (5) an. Die Kinetochoren sind Proteinkomplexe, die sich zu diesem Zweck an den Centromeren gebildet haben. Das Endoplasmatische Retikulum (6) und der Golgi-Apparat (7) beginnen sich aufzulösen.

4. Späte Prometaphase

Jetzt hat sich die Kernhülle (1) fast vollständig aufgelöst und die Centriolenpaare (2) sind an den beiden gegenüberliegenden Polen der Zelle angekommen. Die Mikrotubuli (3) der Zentralspindel beginnen, die mit ihnen verbundenen Chromosomen (4) auszurichten.

Die zur Seite gedrängten Mitochondrien (5) und Lysosome (6) formieren sich wieder gleichmäßig im Zellplasma. Das Endoplasmatische Retikulum (7) und der Golgi-Apparat (8) sind nun fast vollständig aufgelöst.

5. Metaphase

Die Mikrotubuli der Zentralspindel (1) haben jetzt exakt an den Kinetochoren (2) eines jeden verdoppelten Chromosoms (3) angesetzt. In der Metaphase verkürzen sich die Chromosomen und richten sich exakt in der Mitte zwischen den beiden Polen der Zentralspindel aus. Sie bilden die sogenannte Metaphasenplatte. In der Aufsicht erscheinen sie als ein sternförmiges Gebilde (Monaster oder Mutterstern).

6. Frühe Anaphase

In der frühen Anaphase trennen sich die vorher verdoppelten Chromatiden (1). Dabei werden exakt die Schwesterchromatiden mit gleicher Erbinformation voneinander getrennt und bilden eigenständige Chromosomen. Diese Trennung beginnt an den paarweise angeordneten Kinetochoren (2), der Anheftungsstelle der Zugfasern der Zentralspindel. Von dort aus werden die Chromosomen dann langsam über die sich verkürzenden Mikrotubuli (3) und die dadurch entstehende Zugwirkung zu den an den Zellpolen liegenden Centriolen (4) gezogen.

7. Späte Anaphase

In der späten Anaphase haben die Chromosomen (1) die Zellpole erreicht und bilden jetzt zwei sogenannte Tochtersterne. Die mit den Kinetochoren verbundenen Mikrotubuli (2) der Zentralspindeln an den beiden gegenüberliegenden Centriolen (3) bilden sich zurück und lösen sich voneinander. Die Mikrotubuli (4), die nicht mit Chromosomen verbunden sind, werden jetzt länger, wodurch sich der Abstand zwischen den Centriolen vergrößert und die Zelle in die Länge gezogen wird. In der Äquatorialebene ist die Andeutung einer Schnürfurche (5) erkennbar.

8. Telophase

In der Telophase lösen sich die mit den Kinetochoren verbundenen Mikrotubuli vollständig auf. Zurück bleiben nur die Mikrotubuli (1), die die beiden Zellpole miteinander verbinden. Um die beiden getrennten Chromosomenpaare an den Zellpolen beginnt die Bildung einer neuen Kernhülle (2). Die kondensierte DNS (3) beginnt sich wieder zu verlängern und ein neuer Nucleolus wird gebildet.

Die Schnürfurche in der Äquatorialebene verdichtet sich und es bildet sich ein sogenannter Schnürring (4), der das Zytoplasma aktiv zusammenzieht und zu einer weiteren Trennung der neu zu bildenden Zellen führt.

9. Zytokinese

Die Chromosomen (1) werden noch dünner und länger. Das Endoplasmatische Retikulum (2) und der Golgi-Apparat (3) bilden sich wieder zur anfänglichen Größe zurück.

Der Zelleib wird jetzt genau in der Mitte, am Schnürring (4) zwischen den beiden neu entstandenen Tochterkernen, durchtrennt. Während der Zytokinese bleibt häufig noch eine dünne Zytoplasmabrücke zwischen den beiden neu entstandenen Zellen erhalten, die als Mittelkörper bezeichnet wird. Erst wenn sich beide Tochterzellen vollständig voneinander getrennt haben, ist die Zytokinese abgeschlossen.

Die beiden neu entstandenen Tochterzellen sind kleiner als die Mutterzelle und erreichen erst durch Wachstum ihre vollständige Größe. Die Tochterzellen gehen wieder in die Interphase über, bevor sie sich erneut durch eine mitotische Teilung verdoppeln.

La mitosis, también denominada división indirecta del núcleo división ecuacional, es la forma más común de multiplicación celular. Una célula (célula madre se divide en dos células hijas con ácido deoxirribonucleico (ADN) idéntico (= genes con material hereditario) y con igual número de cromosomas. La mitosis es el fundamento del crecimiento y de la subsistencia de todos los organismos vivos.

El organismo humano está formado por entre 10^{15} hasta 10^{16} células. En los tejidos de crecimiento rápido (p. ej., epitelio intestinal, prácticamente todas las células se dividen por mitosis cada 12-35 horas, mientras que en los tejidos que se desarrollan lentamente (p. ej., tendones) lo hacen cada 3-6 meses.

En el ciclo celular pueden distinguirse la **interfase**, que indica el período de tiempo entre dos divisiones celulares y la **fase de mitosis**, que es la fase de división propiamente dicha.

Además de este ciclo existe otra fase, la fase G_0 . Se trata de una fase de crecimiento o de diferenciación de la célula sin preparación para la división. En esta fase, la célula puede perder irreversiblemente su potencial de división (p. ej., células musculares), o bien entrar de nuevo en el ciclo celular, después de una fase G_0 de diferente curación, que se iniciará entonces con la fase G_1 .

La interfase se divide en 3 estadios:

- **Fase G_1 (fase pre-síntesis)**
En esta fase, la célula comienza a prepararse para la mitosis inminente. Se activa el crecimiento de todos los elementos de la célula y los centriolos se duplican. En las células de crecimiento rápido esta fase dura alrededor de 3 horas.
- **Fase-S (fase de síntesis)**
Aquí tiene lugar la duplicación de la cantidad de ADN por replicación como preparación para la división celular inminente. En las células de crecimiento rápido esta fase dura aproximadamente 8 horas.
- **Fase G_2 (fase post-síntesis)**
En este estadio tienen lugar los últimos preparativos para el inicio de la mitosis. Los cromosomas se agrupan y se "repara" del ADN. En los tejidos humanos y de animales, al final de esta fase, las células pierden el contacto con las otras células próximas, se redondean y aumentan su volumen por la entrada delíquido. Esta fase dura unas 4 horas en las células de crecimiento rápido.

La fase de mitosis se divide en los siguientes estadios:

- **Profase**
- **Prometáfase inicial**
- **Prometáfase avanzada**
- **Metafase**
- **Anafase inicial**
- **Anafase avanzada**
- **Telofase**
- **Citocinesis**

Duración de todos los estadios en las células de crecimiento rápido: aproximadamente 1 hora.

El modelo de serie de 3B Scientific sobre la Mitosis (Número de producto R01) o bien la lámina de la Mitosis (V2049M, V2049U) muestra una típica célula de mamífero aumentada unas 10.000 veces. En el tercio inferior del modelo/lámina, los organelos celulares se representan abiertos. Debido a que este es un modelo bidimensional, no todas las cromátidas serán mostradas en el plano visible.

El modelo de serie de 3B Scientific® sobre la Mitosis es fácil de manipular y está dotado de un dispositivo para colgarlo, de modo que Uds. pueden colgar fácilmente el modelo en la pared ocupando poco espacio. Al dorso, el modelo lleva unos imanes para facilitar su adherencia a las pizarras magnéticas del aula docente.

Al final de esta descripción encontrarán Uds. las imágenes de los 9 estadios dibujados, que podrá utilizar como copia para la enseñanza. Mediante pinturas, rotulaciones y un correcto ordenamiento de cada uno de los estadios, sus alumnos pueden comprender y profundizar fácilmente en los temas enseñados.

Los dibujos coloreados de los diferentes estadios pueden conseguirse gratis por Internet <http://www.3bscientific.com>.

1. Interfase, estadio de la fase G₁

El interior de la célula muestra el núcleo celular y el nucléolo (1) con la membrana nuclear (2). El núcleo celular contiene el ADN aún no condensado (3) con la información genética.

La célula mantiene su estabilidad y su forma gracias a unos tubos muy finos, denominados microtúbulos, que mantienen el citoplasma (4) en tensión. Estos microtúbulos dirigen los movimientos celulares y los procesos de transporte intracelular.

El citoplasma contiene el retículo endoplasmático (5). Consiste en un sistema tubular complejo que sirve principalmente para el transporte intracelular de agua y iones. En la membrana del retículo endoplasmático se encuentran los ribosomas, responsables de la producción de proteínas. ®

El aparato de Golgi (6) se conoce también como la "glándula celular". Constituye un depósito de gránulos huecos adosados entre sí (cisternas de Golgi), que se dilatan formando pequeñas vesículas que luego se dividen (vesícula de Golgi) (7). El aparato de Golgi recibe del retículo endoplasmático enzimas y constituyentes de la membrana. Su principal misión es el almacenamiento y la eliminación de secreciones y la formación de los lisosomas (vesículas digestivas) (8).

La principal función de los lisosomas es la degradación de los componentes celulares. Esto puede suceder liberando productos hacia el exterior de la célula (= exocitosis) o en el interior de la célula (= digestión intracelular). Las mitocondrias (9) son responsable de la producción de energía para las células.

La función de los centriolos (10) es construir el husomitótico para la división. Son cilindros huecos formados por tubos largos (microtúbulos).

2. Profase

La célula se prepara para iniciar la división mitótica. Los microtúbulos se degradan y el plasma celular incrementa su fluidez. Aumenta la permeabilidad de la superficie celular para poder absorber el líquido extracelular. El sistema de microtúbulos, base del esqueleto celular, desaparece.

La membrana nuclear (1) y el nucleolo (2) empiezan a desaparecer. En el núcleo celular empieza a condensarse el ADN y los cromosomas se hacen bien visibles. Cada cromosoma se ha replicado en la fase S y ahora está formado por dos cromátides hermanas (3). Cada una de estas cromátides hermanas contiene una secuencia determinada de ADN, denominada centrómero (4), indispensable para la separación de las células hijas.

El par de centriolos (5), duplicados en la interfase, empiezan a migrar hacia los polos celulares. Entre ellos forman el denominado huso cromático (6), formado por numerosos microtúbulos. Las mitocondrias (7) y los lisosomas (8) que se encuentran en esta zona son desplazados hacia los lados.

3. Prometáfase inicial

En la prometáfase precoz, el nucleolo se deshace y la envoltura nuclear se disgrega en vesículas membranosas (1). Los cromosomas (2) en el interior del núcleo celular son ya claramente reconocibles. Los dos centriolos (3) se han desplazado al máximo hacia los polos. Los microtúbulos (4) del huso cromático, situados hasta ahora en el exterior del núcleo, penetran en el espacio nuclear y se adhieren a la región central de los cromosomas reduplicados a la altura del cinetocoro (5). Los cinetocoros son complejos proteicos, que se forman a la altura de los centrómeros. El retículo endoplasmático (6) y el aparato de Golgi (7) desaparecen.

4. Prometáfase avanzada

La membrana nuclear (1) ha desaparecido casi completamente y el par de centriolos (2) han alcanzado cada uno los polos celulares opuestos. Los microtúbulos (3) del huso cromático con los cromosomas adheridos a ellos empiezan a alinearse (4). Las mitocondrias (5) y los lisosomas (6) recién formados se disponen de nuevo simétricamente en el citoplasma. El retículo endoplasmático (7) y al aparato de Golgi (8) han desaparecido del todo.

5. Metafase

Ahora, los microtúbulos del huso cromático (1) se han situado exactamente en los cinetocoros (2) que contienen cada uno una cantidad doble de cromosomas (3). En la metafase se condensan los cromosomas y alcanzan exactamente el centro equidistante de ambos polos del huso central. Constituyen la llamada placa de la metafase, que tiene el aspecto de una estrella (monáster).

6. Anafase inicial

En la fase inicial de la anafase se dividen las cromátides hasta ahora dobles (1). Las cromátides hermanas, con idéntica información hereditaria, se separan entre sí y dan lugar a los cromosomas propiamente dichos. Esta división se inicia en los cinetocoros (2) ordenados de forma pareada, en el sitio de inserción de las fibras de tracción del huso cromático. Desde allí, los cromosomas son arrastrados lentamente, por la tracción generada por el acortamiento de los microtúbulos (3), hacia los centriolos (4) situados en los polos celulares.

7. Anafase avanzada

Al final de la anafase, los cromosomas (1) han alcanzado el polo celular y constituyen ahora las llamadas estrellas hijas. Los microtúbulos (2) del huso cromático unidos al cinetocoro y al centriolo (3) se separan entre sí. Los microtúbulos (4), que no se encuentran unidos a los cromosomas, se alargan, con lo que la distancia entre los centriolos crece y la célula aumenta de longitud. En el ecuador de la célula se identifica el surco de constricción (5).

8. Telofase

En esta fase desaparecen completamente los microtúbulos unidos a los cinetocoros. Únicamente quedan rezagados los microtúbulos (1) que unen entre sí ambos polos celulares. Alrededor de los cromosomas separados en ambos polos de la célula se inicia la formación de una nueva membrana nuclear (2). El ADN (3) empieza a descondensarse de nuevo formándose así un nuevo nucleolo.

El surco de constricción en posición ecuatorial progresa y se forma el llamado anillo de constricción (4), que mantiene aún la continuidad del citoplasma y dará lugar, con una nueva división, a las dos células hijas.

9. Citocinesis

Los cromosomas (1) adelgazan y se largan. El retículo endoplasmático (2) y el aparato de Golgi (3) aparecen de nuevo. La célula se divide a la altura del anillo de constricción (4) que está situado en la mitad de la célula y que separará los dos nuevos núcleos hijos. Durante la citocinesis persiste a menudo todavía una fina conexión citoplasmática entre las dos nuevas células hijas. La citocinesis finaliza cuando ambas células hijas se han separado completamente entre sí. Las dos nuevas células hijas son más pequeñas que la célula madre y alcanzarán con su crecimiento su tamaño definitivo. Las células hijas entran de nuevo en la interfase, antes de iniciar un nuevo ciclo de división.

La mitose, appelée également division indirecte de la cellule ou division équatoriale, est la forme de multiplication cellulaire la plus répandue. Une cellule (cellule mère) est divisée en 2 cellules filles possédant un ADN identique (= gènes, supports des caractères héréditaires) et le même nombre de chromosomes. La mitose est la base de la croissance et de la survie de tous les organismes vivants.

L'organisme humain se compose d'environ 10^{15} à 10^{16} cellules. Dans un tissu à croissance rapide (p.ex. l'épithélium de l'intestin), les cellules se divisent par mitose à peu près toutes les 12 à 35 heures, dans un tissu à croissance lente (p.ex. les tendons) à peu près tous les 3 à 6 mois.

En principe, dans le cycle d'une cellule on fait la distinction entre l'**interphase** qui caractérise le temps qui sépare deux divisions cellulaires et la phase de division à proprement parler, la **phase mitotique**. En dehors de ce cycle, il existe encore une autre phase, la phase G_0 . Il s'agit d'une phase de croissance ou de différenciation de la cellule sans préparation de division. Au cours de cette phase, la cellule peut perdre sa capacité de division de manière irréversible (p.ex. cellules musculaires) ou après une phase G_0 de longueur variable, elle réintègre le cycle cellulaire qui commence par la phase G_1 .

L'interphase est répartie en 3 stades :

- **Phase G_1 (phase de présynthèse)**
Au cours de cette phase, la cellule commence à se préparer pour la mitose imminente. La croissance de tous les éléments de la cellule est activée et les centrioles se dédoublent. Cette phase dure environ 3 heures pour les cellules à croissance rapide.
- **Phase S (phase de synthèse)**
La duplication de la quantité d'ADN a lieu par réplication en tant que préparation supplémentaire pour la mitose imminente. Cette phase dure environ 8 heures pour les cellules à croissance rapide.
- **Phase G_2 (phase de postsynthèse)**
A ce stade, les dernières préparations ont lieu avant que ne commence la mitose. Les chromosomes s'épaississent et une "correction" de l'ADN a lieu. A la fin de cette phase, les cellules du tissu humain/animal se détachent du contact cellulaire avec les cellules avoisinantes, elles s'arrondissent et augmentent souvent de volume par l'absorption de liquide. Cette phase dure environ 4 heures pour les cellules à croissance rapide.

La phase mitotique se compose des stades suivants :

- **Prophase**
- **Prométophase précoce**
- **Prométophase tardive**
- **Métophase**
- **Anaphase précoce**
- **Anaphase tardive**
- **Télophase**
- **Cytocinèse**

Durée de tous les stades : environ 1 heure pour les cellules à croissance rapide.

La série des modèles 3B Scientific® de la mitose (numéro du produit R01) ou la planche murale relative à la mitose (V2049M, V2049U) montre une cellule typique d'un mammifère, agrandie 10.000 fois. Le tiers inférieur des modèles/illustrations montre les organelles cellulaires ouverts. En raison de la bidimensionnalité de ce modèle, tous les chromatides ne sont pas visibles dans le niveau de la coupe.

La série des modèles 3B Scientific® de la mitose est fournie dans un système de conservation agrémenté d'un dispositif de suspension. De cette manière, vous pouvez facilement suspendre la série de modèles au mur tout en économisant de la place. Au verso, les modèles sont pourvus d'aimants afin d'être disposés sur des tableaux magnétiques dans la classe.

1. Interphase, stade de la phase G₁

A l'intérieur de la cellule, le noyau, le nucléole (1) et son enveloppe nucléaire (2) sont visibles. Dans le noyau se trouve l'ADN sous forme déspiralée (3) contenant l'information génétique.

La cellule même doit sa stabilité et sa forme à des filaments appelés microtubules qui traversent et tendent le plasma cellulaire (4). Les microtubules commandent e.a. le mouvement cellulaire et les processus de transport intracellulaires.

Le réticulum endoplasmique (5) est visible dans le plasma cellulaire. Il s'agit d'un système membranaire étendu et fermé, constitué de structures en forme de tubes, servant principalement au transport intracellulaire de l'eau et des ions. Sur la membrane du réticulum endoplasmique se trouvent les ribosomes, responsables de la production de protéines.

L'appareil de Golgi (6) est également appelé "glande cellulaire". Il est constitué de piles de corps creux imbriqués les uns dans les autres (cisternes de Golgi) qui s'y ballonnent et se détachent (vésicules de Golgi) (7). L'appareil de Golgi reçoit des éléments membranaires et des enzymes du réticulum endoplasmique, et sa tâche principale consiste à collecter et à transporter des sécrétions et à former des lysosomes (vésicules de digestion) (8).

La tâche principale des lysosomes consiste en la dégradation des constituants cellulaires. Ceci peut soit se produire de la cellule vers l'extérieur (= exocytose) ou au sein de la cellule (= digestion intracellulaire). Les mitochondries (9) sont responsables de l'apport en énergie de la cellule.

La tâche des centrioles (10) consiste à construire les fuseaux de mitose. Il s'agit de cylindres creux composés de filaments longitudinaux (microtubules).

2. Prophase

La cellule se prépare à la mitose et abandonne sa fonction. La dégradation des microtubules stabilisateurs entraîne une diminution de la viscosité du plasma cellulaire. La perméabilité de la surface cellulaire augmente afin d'absorber du liquide avoisinant. L'appareil microtubulaire, la base du cytosquelette, se dissout. L'enveloppe nucléaire (1) et le nucléole (2) commencent également à se dissoudre. Dans le noyau, l'ADN commence à se condenser et à former des chromosomes précisément définis. Chaque chromosome s'est répliqué au cours de la phase S précédente et se compose maintenant de deux chromatides sœurs (3). Chacune de ces chromatides sœurs contient une certaine séquence d'ADN, le centromère (4), nécessaire à la séparation des cellules filles. Les couples de centrioles (5) qui ont été dédoublés pendant l'interphase commencent, les uns séparés des autres, à migrer en direction des deux pôles. Ils forment entre eux le fuseau central (6), composé de nombreux microtubules. Les mitochondries (7) et les lysosomes (8) se trouvent dans cette zone sont repoussés vers les côtés.

3. Prométaphase précoce

Au cours de la prométaphase précoce, le nucléole se dissout et l'enveloppe nucléaire se dégrade en vésicule membranaire (1). Les chromosomes (2) à l'intérieur du noyau sont parfaitement visibles. Les deux centrioles (3) continuent leur chemin en direction des pôles. Les microtubules (4) du fuseau central se trouvant jusqu'à présent à l'extérieur du noyau peuvent pénétrer dans la zone du noyau et s'attachent aux kinétochores (5) au centre de chaque chromosome répliqué. Les kinétochores sont des complexes de protéines qui se sont formés à cet effet sur les centromères. Le réticulum endoplasmique (6) et l'appareil de Golgi (7) commencent à se dissoudre.

4. Prométaphase tardive

L'enveloppe nucléaire (1) est pratiquement dissoute et les couples de centrioles (2) ont atteint les deux pôles de la cellule se trouvant face à face. Les microtubules (3) du fuseau central commencent à disposer les chromosomes (4) leur étant attribués.

Les mitochondries (5), repoussées sur les côtés, et les lysosomes (6) se forment à nouveau de manière homogène dans le plasma cellulaire.

Le réticulum endoplasmique (7) et l'appareil de Golgi (8) sont maintenant pratiquement dissous.

5. Métaphase

Les microtubules du fuseau central (1) se sont attachés de manière exacte aux kinétochores (2) de chaque chromosome (3) dédoublé. Au cours de la métaphase, les chromosomes se raccourcissent et se disposent exactement au milieu des deux pôles du fuseau central. Ils forment la plaque de la métaphase. Ils se présentent sous la forme d'une étoile (couronne équatoriale ou étoile mère).

6. Anaphase précoce

Au cours de l'anaphase précoce, les chromatides (1) s'étant dédoublées auparavant se séparent. Les chromatides sœurs possédant exactement la même information héréditaire se séparent et forment des chromosomes indépendants. Cette séparation commence chez les kinétochores (2) disposés en couples, lieu d'attachement des fibres de traction du fuseau central. A partir de là, les chromosomes sont attirés par les microtubules (3) se rétrécissant lentement, et par l'effet de traction en résultant, vers les centrioles (4) se trouvant aux pôles de la cellule.

7. Anaphase tardive

Au cours de l'anaphase tardive, les chromosomes (1) ont atteint les pôles de la cellule et forment maintenant deux étoiles filles. Les microtubules (2) des fuseaux centraux reliés par les kinétochores aux deux centrioles (3) se trouvant face à face se résorbent et se détachent l'un de l'autre. Les microtubules (4) qui ne sont pas reliés à des chromosomes s'allongent, augmentant par conséquent la distance entre les centrioles et allongeant la cellule. On aperçoit une fente de constriction (5) sur la plaque équatoriale.

8. Télophase

Au cours de la télophase, les microtubules reliés aux kinétochores se dissolvent complètement. Il ne reste que les microtubules (1) qui relient les deux pôles de la cellule. Une nouvelle enveloppe nucléaire (2) commence à se former autour des deux couples de chromosomes séparés aux pôles de la cellule. L'ADN (3) condensé commence à s'allonger à nouveau, et un nouveau nucléole se forme.

La fente de constriction de la plaque équatoriale s'épaissit et un anneau de constriction (4) se forme, contractant activement le cytoplasme et entraînant une séparation supplémentaire des cellules devant se former.

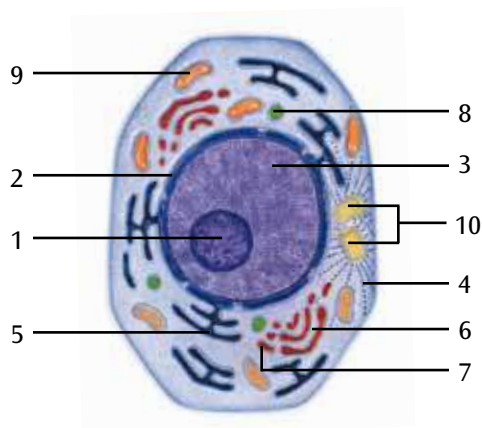
9. Cytocinèse

Les chromosomes (1) deviennent encore plus fins et s'allongent. Le réticulum endoplasmique (2) et l'appareil de Golgi (3) se reconstituent.

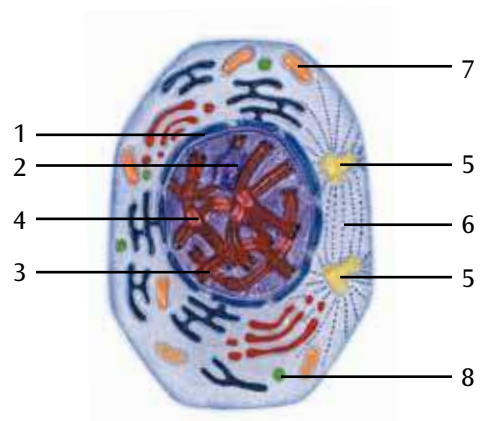
Le corps de la cellule est maintenant séparé, exactement au milieu, à l'anneau de constriction (4) entre les deux nouveaux noyaux filles. Au cours de la cytokinèse, un fin pont de cytoplasme est souvent conservé entre les deux nouvelles cellules, désigné par le terme de corps central. La cytokinèse n'est terminée que lorsque les deux cellules filles se sont complètement séparées l'une de l'autre.

Les deux nouvelles cellules filles sont plus petites que la cellule mère et n'atteignent leur taille normale que par la croissance. Les cellules filles entrent à nouveau dans l'interphase avant qu'elles ne se dédoublent à nouveau par une division mitotique.

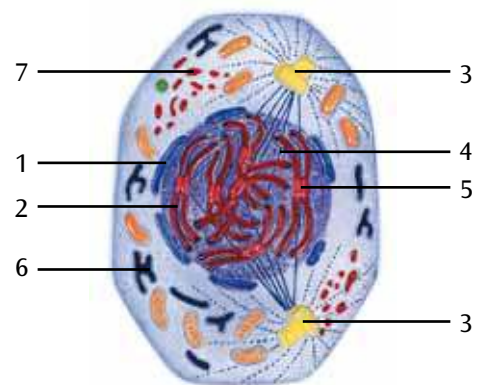
1.



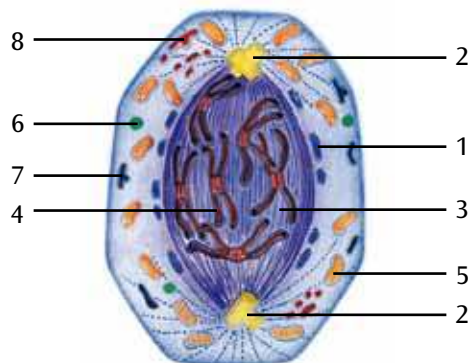
2.



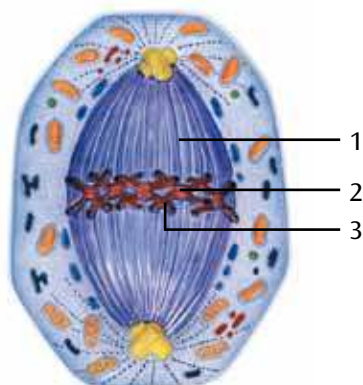
3.



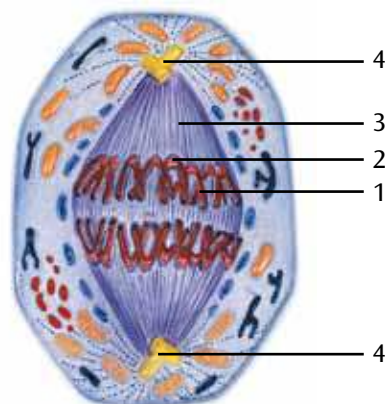
4.



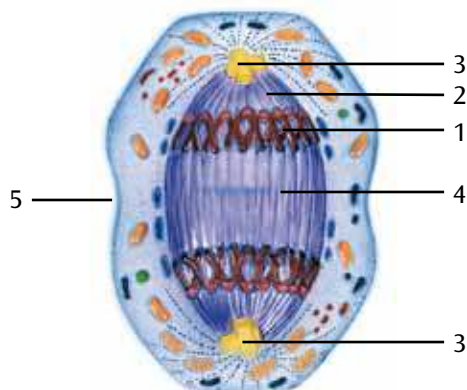
5.



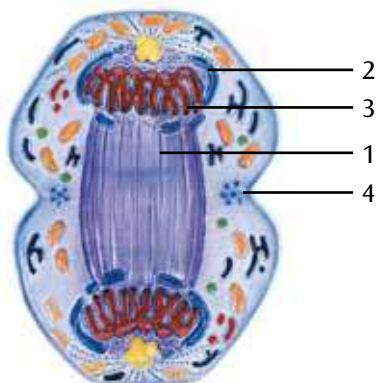
6.



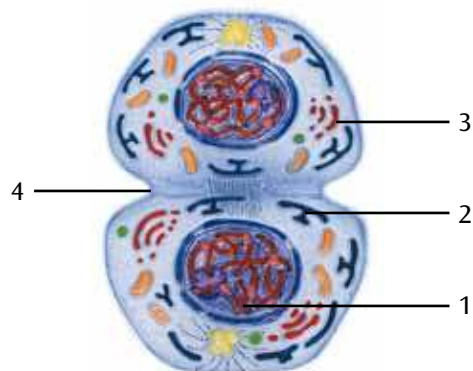
7.



8.



9.



A mitose, também chamada de cariocinese, é o processo de reprodução celular mais frequente encontrado nos organismos. Durante a mitose uma célula (célula-mãe) divide-se em 2 células-filhas com DNA (=genes com material genético) e números de cromossomos idênticos. A mitose é fundamental para o crescimento e a reparação dos tecidos de todos os organismos vivos.

O organismo humano é formado por entre 10^{15} a 10^{16} células. Células em tecidos de crescimento rápido (p.ex. epitélio intestinal) dividem-se através da atividade mitótica cada 12 a 35 horas, enquanto nos tecidos de crescimento mais lento (p.ex. tendões) a divisão celular ocorre somente cada 3 a 6 meses.

No ciclo celular são distinguidas duas etapas gerais: a **intérfase**, que abrange o período intermediário entre duas divisões celulares, e a **mitose**, a fase em que ocorre a divisão da célula.

Fora deste ciclo existe mais uma outra fase, a fase G_0 , que é a fase de crescimento ou de diferenciação da célula. Durante esta fase a célula pode irreversivelmente perder a sua capacidade de divisão (p.ex. células musculares); ou ela entra novamente no ciclo celular após uma fase G_0 de duração variável, iniciando-se o processo mitótico com a fase G_1 .

A intérfase abrange 3 etapas:

- **Fase G_1 (pré-síntese)**
Durante esta fase a célula começa a se preparar para o processo da mitose. O crescimento de todos os componentes da célula é ativado e os centríolos são duplicados. No caso de células de crescimento rápido, esta fase tem uma duração de aproximadamente 3 horas.
- **Fase S (síntese)**
Nesta etapa ocorre a duplicação da quantidade de DNA através da replicação, preparando a célula para a divisão celular. No caso de células de crescimento rápido, esta fase tem uma duração de aproximadamente 8 horas.
- **Fase G_2 (pós-síntese)**
Durante esta fase ocorrem os últimos processos de preparação para o início da atividade mitótica. Os cromossomos são condensados e o DNA é “verificado”. No final desta fase as células de tecidos humanos/animais desprendem-se de células vizinhas, arredondam-se e frequentemente aumentam o seu volume através da absorção de substâncias líquidas. No caso de células de crescimento rápido, esta fase tem uma duração de aproximadamente 4 horas.

A Mitose engloba as seguintes etapas:

- **Prófase**
- **Prometáfase inicial**
- **Prometáfase final**
- **Metáfase**
- **Anáfase inicial**
- **Anáfase final**
- **Telófase**
- **Citocinese**

Duração de todas as etapas no caso de células de crescimento rápido: aproximadamente 1 hora.

A série de modelos sobre a mitose da 3B Scientific® (Número do produto: R01) ou seja o quadro esquemático da mitose (V2049M, V2049U) mostra uma célula animal típica numa escala de aproximadamente 10.000:1. Na parte inferior dos modelos/esquemas encontram-se cortes das organelas celulares. Como este é um modelo bidimensional nem todas as cromátides serão mostradas no plano visível.

A série de modelos sobre a mitose da 3B Scientific® é fornecida com uma embalagem equipada com um dispositivo de suspensão, com a ajuda do qual é possível pendurar a série de modelos na parede para economizar espaço. Ímãs fixados atrás dos modelos possibilitam a sua disposição em quadros magnéticos na

sala de aula.

Ao final desta apresentação você encontrará esquemas das 9 etapas apresentadas, que podem ser copiados e utilizados em aula. Pintando os esquemas, preenchendo as legendas e colocando as diferentes etapas na ordem certa, seus alunos poderão facilmente entender e aprofundar o que aprenderam.

Esquemas coloridos das diferentes etapas podem ser também gratuitamente obtidas na Internet sob o endereço <http://www.3bscientific.com>.

1. Intérfase, Fase G₁

No interior da célula podemos observar o núcleo com o nucléolo (1) e a carioteca (membrana nuclear) (2). Dentro do núcleo celular encontra-se a DNA ainda não espiralizada (3) com a informação genética.

A célula recebe a sua estabilidade e forma através de cilindros extremamente finos, os chamados microtúbulos presentes no citoplasma (4). Os microtúbulos também são responsáveis pelo movimento da célula e pelos processos de transporte intracelulares.

2. Prófase

A célula prepara-se para a divisão e pára de funcionar. Através da decomposição dos microtúbulos estabilizadores, a viscosidade do citoplasma é reduzida. A permeabilidade da membrana celular aumenta, possibilitando a absorção de substâncias líquidas. O complexo dos microtúbulos, a base do citoesqueleto, é dissolvido.

A carioteca (membrana nuclear) (1) e o nucléolo (2) também começam a se desintegrar. No núcleo da célula, o DNA começa a se condensar e a formar cromossomos bem definidos. Cada cromossomo sofreu a replicação durante a fase S precedente e é agora constituído por respectivamente duas cromátides irmãs (3). Cada uma destas cromátides irmãs contém uma determinada sequência de DNA, o chamado centrômero (4), que é necessário para a separação das células-filhas.

Os pares de centríolos (5), que já se haviam duplicado durante a intérfase, afastam-se gradativamente em direção aos dois pólos da célula. Entre eles forma-se o chamado fuso mitótico (6), composto por numerosos microtúbulos. As mitocôndrias (7) e os lisossomos (8) situados nesta área são deslocados para os lados.

3. Prometáfase inicial

Durante esta fase o nucléolo se desintegra e a carioteca (membrana nuclear) começa a se fragmentar, formando vesículas membranosas (1). Os cromossomos (2) dentro do núcleo celular tornam-se visíveis.

Os dois centríolos (3) continuam a se afastar em direção aos pólos. Os microtúbulos do fuso mitótico (4), que até então encontravam-se fora do núcleo, podem agora penetrar a área do núcleo e prendem-se aos cinetócoros (5) no centro de cada um dos cromossomos duplicados. Os cinetócoros são complexos de proteína que se formaram nos centrômeros para este fim. O retículo endoplasmático (6) e o complexo de Golgi (7) começam a se desintegrar.

4. Prometáfase final

Nesta fase, a carioteca (1) está praticamente completamente desintegrada e os centríolos (2) chegaram aos dois pólos opostos da célula. Os microtúbulos (3) do fuso mitótico começam a organizar os cromossomos (4) aos quais estão ligados.

As mitocôndrias (5) e os lisossomos (6) anteriormente deslocados para os lados distribuem-se novamente pelo citoplasma.

O retículo endoplasmático (7) e o complexo de Golgi (8) estão praticamente completamente desintegrados.

5. Metáfase

Agora os microtúbulos do fuso mitótico (1) prendem-se exatamente aos cinetócoros (2) de cada cromossomo duplicado (3). Durante a metáfase os cromossomos atingem seu grau máximo de condensação e se colocam exatamente no plano equatorial da célula entre os dois pólos do fuso mitótico. Eles formam a assim chamada placa metafásica (placa equatorial). Vistos de cima eles apresentam um aspecto de estrela (monáster ou estrela-mãe).

6. Anáfase inicial

Nesta fase ocorre a separação das cromátides anteriormente duplicadas (1). As respectivas cromátides irmãs com a sua informação genética idêntica são separadas, formando assim cromossomos independentes. Esta separação inicia-se nos cinetócoros (2) organizados em pares, aos quais se prendem as fibras do fuso mitótico. Através do encurtamento dos microtúbulos (3) e o efeito de deslizamento resultante, os cromossomos são arrastados gradualmente em direção aos centríolos (4) localizados nos pólos da célula.

7. Anáfase final

Durante esta fase os cromossomos (1) chegaram aos pólos da célula, formando duas assim chamadas estrelas-filhas. Os microtúbulos (2) dos fusos mitóticos nos dois centríolos (3) opostos que estão ligados aos cinetócoros encurtam-se e se desprendem uns dos outros. Os microtúbulos (4) que não estão ligados a cromossomos tornam-se mais compridos, aumentando assim a distância entre os centríolos e tornando a célula mais longa. No plano equatorial começa a aparecer uma constrição (5).

8. Telófase

Durante a telófase os microtúbulos ligados aos cinetócoros desintegram-se completamente, sobrando apenas os microtúbulos (1) que ligam os pólos da célula. Duas novas cariotecas (2) começam a se reconstituir em torno dos pares de cromossomos separados nos pólos da célula. O DNA condensado (3) desespiraliza-se gradativamente. Forma-se um novo nucléolo.

A constrição no plano equatorial se aprofunda, formando um sulco de clivagem (4) que junta o citoplasma ativamente e resulta na divisão da célula em duas.

9. Citocinese

Os cromossomos (1) tornam-se ainda mais finas e longas. Reconstituem-se o retículo endoplasmático (2) e o complexo de Golgi (3).

O corpo da célula é dividido exatamente ao meio, na altura do sulco de clivagem (4) entre os dois núcleos-filhos recém-formados. Durante a citocinese as duas células novas frequentemente continuam ligadas por uma ponte citoplasmática estreita. A citocinese está concluída somente após a separação completa das duas células-filhas.

As duas células-filhas recém-formadas são menores do que a célula-mãe e atingem o seu volume completo somente através do crescimento celular. As células-filhas entram novamente no período da intérfase, antes de se dividirem mais uma vez através da atividade mitótica.

La mitosi, denominata anche divisione nucleare indiretta o divisione equazionale, è il tipo più diffuso di riproduzione cellulare. Nel corso di questo processo, una cellula, detta madre o cellula genitore, si divide in due cellule figlie con DNA identico, dove per quest'ultimo si intendono geni contenenti informazioni ereditarie, e lo stesso numero di cromosomi. La mitosi è fondamentale per la crescita e la preservazione di tutti gli organismi viventi.

L'organismo umano è costituito da circa 10^{15} - 10^{16} cellule. Nei tessuti a crescita rapida, come ad esempio l'epitelio intestinale, le cellule si dividono per mitosi ogni 12-35 ore circa, mentre nei tessuti a crescita lenta, come i tendini, solo ogni 3-6 mesi circa.

Nel ciclo di una cellula viene fatta una distinzione di base tra l'interfase, relativa al periodo tra due divisioni cellulari, e la fase di effettiva divisione, chiamata mitosi.

Un'ulteriore fase, non facente parte di questo ciclo, viene definita fase G_0 . Si tratta di un periodo di crescita o differenziazione cellulare senza preparazione per una divisione, in cui la cellula può perdere irreversibilmente la sua capacità di divisione (come accade, ad esempio, per le cellule muscolari) oppure, dopo una fase G_0 di lunghezza variabile, rientrare nel ciclo cellulare che inizia quindi con la fase G_1 .

L'interfase comprende 3 stadi:

- **Fase G_1 (lacuna presintetica)**

In questa fase, la cellula comincia a prepararsi per la futura mitosi. Viene attivata la crescita di tutte le sue parti e i centrioli vengono duplicati. Nelle cellule a crescita rapida, questa fase dura circa 3 ore.

- **Fase S (sintesi)**

In questa fase, il DNA viene duplicato tramite replicazione, come ulteriore preparazione per la futura divisione cellulare. Nelle cellule a crescita rapida, questa fase dura circa 8 ore.

- **Fase G_2 (lacuna postsintetica)**

In questo stadio vengono effettuate le ultime preparazioni per avviare la mitosi. I cromosomi vengono condensati e il DNA viene "controllato". Terminata questa fase, le cellule nel tessuto umano o animale interrompono i contatti con le cellule vicine, assumono una forma arrotondata e spesso accrescono la loro massa assumendo fluidi. Nelle cellule a crescita rapida, questa fase dura circa 4 ore.

Il ciclo mitotico comprende le seguenti fasi:

- **Profase**
- **Profase tardiva**
- **Prometafase**
- **Metafase**
- **Anafase precoce**
- **Anafase tardiva**
- **Telofase**
- **Citocinesi**

Durata di tutte le fasi nelle cellule a crescita rapida: circa 1 ora

La serie di modelli 3B Scientific® sulla mitosi (codice prodotto R01) e il tabellone murale sulla mitosi (V2049M, V2049U) mostrano una tipica cellula mammifera con un fattore di ingrandimento pari a circa 10.000. Nella parte inferiore dei modelli e delle illustrazioni, gli organelli cellulari vengono visualizzati come se fossero aperti. Poiché si tratta di un modello bidimensionale, non tutti i cromatidi saranno mostrati nel lato visibile.

La serie viene fornita in un supporto per il deposito, dotato di un dispositivo che permette di appendere i modelli al muro, così da risparmiare spazio. Questi ultimi sono inoltre dotati di calamite sul retro che permettono di applicarli e disporli su lavagne magnetiche in classe e utilizzarli a fini educativi.

Al termine di questa descrizione seguono le illustrazioni delle 9 fasi, che possono essere fotocopiate per le lezioni. Colorando, denominando e ordinando le singole fasi nel modo corretto, gli studenti potranno facilmente ripassare e memorizzare quanto appreso.

Illustrazioni a colori gratuite dei vari stadi sono disponibili anche su Internet all'indirizzo <http://www.3bscientific.com>.

1. Interfase, stadio della fase G₁

All'interno della cellula è possibile scorgere il nucleo con il nucleolo (1) e la membrana nucleare (2). Il nucleo contiene inoltre il DNA (3) non ancora elicoidale con le informazioni genetiche.

La cellula riceve la propria stabilità e forma da tubi molto sottili, i cosiddetti microtubuli, che si estendono attraverso il citoplasma (4). Essi controllano, tra le altre cose, i movimenti della cellula e i processi di trasporto intracellulari.

All'interno del citoplasma è visibile il reticolo endoplasmatico (5). Si tratta di un sistema di tubi intrecciati, il cui compito è il trasporto di acqua e ioni all'interno della cellula. La membrana del reticolo endoplasmatico è ricoperta di ribosomi, destinati alla produzione di proteine.

L'apparato del Golgi (6) può essere definito la "ghiandola della cellula". È costituito da una serie di sacche cave impilate (cisterne membranose appiattite) che si gonfiano man mano che le vescicole del Golgi (7) si rimpiccioliscono e si sciolgono. L'apparato del Golgi riceve componenti membranosi ed enzimi dal reticolo endoplasmatico: la sua funzione principale è di raccogliere e distribuire secrezioni, oltre che di produrre lisosomi (vescicole digestive, 8).

Lo scopo principale dei lisosomi è disgregare i componenti della cellula. Ciò può avvenire dall'interno della cellula verso l'esterno (esocitosi), oppure all'interno di essa (digestione intracellulare).

Gli organelli addetti alla produzione di energia sono i mitocondri (9).

La funzione dei centrioli (10) è assemblare il fuso mitotico. Si tratta di cilindri cavi costituiti da tubi disposti longitudinalmente (microtubuli).

2. Profase

La cellula si prepara alla divisione e abbandona le sue funzioni. Il citoplasma diventa meno glutinoso man mano che i microtubuli stabilizzanti si spezzano. La permeabilità della superficie cellulare aumenta al fine di consentire l'assorbimento di liquido dall'esterno.

Il complesso microtubulare, base del citoscheletro, si dissolve.

Lo stesso accade alla membrana nucleare (1) e al nucleolo (2). Nel nucleo, il DNA inizia a condensarsi e a formare cromosomi ben definiti. Ognuno di essi è stato replicato durante la precedente fase S e ora è costituito da due cromatidi fratelli (3). Essi contengono ciascuno una specifica sequenza di DNA, il cosiddetto centomero (4), deputato alla separazione delle cellule figlie.

I due centrioli (5), duplicati durante l'interfase (fase S), iniziano ad allontanarsi uno dall'altro in direzione dei poli della cellula. Tra di essi si forma ciò che viene definito fuso centrale (6), costituito da numerosi microtubuli. I mitocondri (7) e i lisosomi (8) presenti in quest'area vengono emarginati.

3. Profase tardiva

Nel corso della profase tardiva, il nucleolo si dissolve, analogamente alla membrana nucleare, che si trasforma in vescicole membranose (1). I cromosomi (2) sono chiaramente visibili all'interno del nucleo.

I due centrioli (3) continuano il loro percorso verso i poli. I microtubuli (4) del fuso centrale, che si trovavano a distanza all'esterno del nucleo, possono ora penetrare quest'area e collegarsi ai cinetocori (5) collocati al centro di ciascun cromosoma duplicato. I cinetocori sono complessi di proteine, formati a questo scopo

nei centromeri. Il reticolo endoplasmatico (6) e l'apparato del Golgi (7) iniziano a dissolversi.

4. Prometafase

A questo punto, la membrana nucleare (1) si è dissolta quasi completamente e la coppia di centrioli (2) ha raggiunto i due poli opposti della cellula. I microtubuli (3) del fuso centrale iniziano ad allineare i cromosomi (4) collegati a essi.

I mitocondri (5) e i lisosomi (6) che erano stati emarginati si allineano nuovamente in modo uniforme all'interno del citoplasma. Il reticolo endoplasmatico (7) e l'apparato del Golgi (8) sono quasi completamente dissolti.

5. Metafase

I microtubuli del fuso centrale (2) aderiscono precisamente ai cinetocori (2) di ciascun cromosoma duplicato (3). Nel corso della metafase, i cromosomi si accorciano e si allineano esattamente al centro, tra i due poli del fuso centrale, creando così la cosiddetta piastra metafasica. Visti dall'alto assumono una forma simile a una stella (monaster o stella "madre").

6. Anafase precoce

Nel corso dell'anafase precoce i cromatidi (1) precedentemente duplicati si separano. Ciò significa che i cromatidi fratelli contenenti le stesse informazioni genetiche vengono separati in modo preciso, andando a formare cromosomi indipendenti. Questa separazione inizia in corrispondenza della coppia di cinetocori (3), punto dove sono collegate le fibre del fuso centrale. Da qui, i cromosomi vengono trascinati lentamente verso i centrioli (4), collocati ai poli della cellula, spostandosi lungo i microtubuli (3) che creano un effetto di trazione man mano che si accorciano.

7. Anafase tardiva

Nell'anafase tardiva i cromosomi (1) hanno raggiunto i poli della cellula e formano ora due stelle "figlie". I microtubuli (2) dei fusi centrali collegati ai cinetocori in corrispondenza dei due centrioli (3), in posizione opposta gli uni agli altri, recedono e si staccano. I microtubuli (4) non collegati ai cromosomi si allungano, aumentando così la distanza tra i centrioli ed estendendo la cellula. A livello equatoriale, diventa visibile lo stadio iniziale di un solco di clivaggio (5).

8. Telofase

La telofase vede i microtubuli collegati ai cinetocori dissolversi completamente. Gli unici microtubuli rimanenti (1) sono quelli che collegano i due poli della cellula tra loro. Intorno alle due coppie di cromosomi separati ai poli inizia a formarsi una nuova membrana nucleare (2). Il DNA condensato (3) inizia ad allungarsi nuovamente e nasce un nuovo nucleolo.

Il solco di clivaggio a livello equatoriale viene condensato e si contrae formando un filamento (4), il quale comprime attivamente il citoplasma, portando a un'ulteriore divisione delle nuove cellule che stanno per crearsi.

9. Citocinesi

I cromosomi (1) si assottigliano e si allungano ulteriormente. Il reticolo endoplasmatico (2) e l'apparato del Golgi (3) vanno incontro a un nuovo sviluppo.

Il corpo della cellula è ora diviso esattamente al centro, in corrispondenza della strozzatura (4) tra i nuclei delle due nuove cellule figlie. Nel corso della citocinesi, tra le due cellule appena create resta spesso un sottile ponte citoplasmatico. Una volta separate completamente le due cellule figlie, la citocinesi è completa.

Esse sono più piccole della madre e raggiungono le proprie dimensioni finali attraverso la crescita. Le cellule figlie entrano nuovamente nell'interfase prima di duplicarsi ancora una volta attraverso la divisione mitotica.

有糸分裂

日本語

有糸分裂は間接核分裂あるいは同型細胞分裂とも呼ばれ、細胞増殖の方法として最もよく見られるものです。この過程では1個の細胞（母細胞あるいは親細胞）が、同じ数の染色体と同一のDNA（遺伝情報を含む）を持つ2個の娘細胞に分かれます。有糸分裂はあらゆる生物の成長と維持のために不可欠なのです。

ヒトの体はおおよそ $10^{15} \sim 10^{16}$ 個の細胞からできています。成長の早い組織（例えば腸の表皮）では、細胞はおおよそ12～35時間ごとに有糸分裂を繰り返し、成長の遅い組織（腱など）にあってはおよそ3～6ヶ月ごとに分裂します。

細胞周期を大きく2つに分けると、実際の有糸分裂が起こる**有糸分裂期**と、各分裂期の間の期間である**間期**の2段階に区切ることができます。

間期はさらに以下の3つに分けることができます。

➤ **G₁期（前統合）**

細胞本来の機能の発現にかかわる時期で、この間、細胞全体が成長しながら、次にくる有糸分裂に必要なタンパク質や他の物質を合成しつづけます。細胞周期中の他の期間は個々の細胞によらずほぼ一定の長さであるのに対し、G₁期の長さは細胞株の種類と環境条件によって大きく異なります。

➤ **S期（統合）**

DNAが複製され、その数は2倍となり、分裂の準備を進めます。成長の早い細胞では、この期間はおおよそ8時間です。

➤ **G₂期（後統合）**

タンパク質の合成が増加し、有子分裂に入る最後の準備がなされます。染色体が凝縮され、DNAが「校正」されます。この段階の終わりには、ヒトや動物の組織における細胞は隣り合う細胞との接触を断ち、丸くなって、周りの液体を摂取することにより、その体積を増します。成長の早い細胞におけるこの期間はおおよそ4時間です。

有子分裂期は次の段階からなります。

➤ **前期**

➤ **前中期A**

➤ **前中期B**

➤ **中期**

➤ **後期A**

➤ **後期B**

➤ **終期**

➤ **細胞質分裂**

有糸分裂期全段階の継続期間は、成長の早い細胞でおおよそ1時間です。

分裂を続けない細胞はG₁期からこの細胞周期を外れ、G₀期と呼ばれる状態に入ります。G₀期に入った細胞は成長あるいは分化を続け、再びS期に移行して分裂することはほとんどありません。

3B有子分裂モデルシリーズ（商品番号R01）と掛図「細胞分裂（有糸分裂）」（V2049M、V2049U）は、おおよそ1万倍の大きさと典型的な哺乳動物細胞を表わしています。モデル・掛図の下3分の1には、細胞内部の器官が示されています。

3B有子分裂モデルシリーズに付属の保管システムは簡単に壁にかけられるので、スペースを節約できます。またこのモデルには後ろに磁石が付いていますので、授業時には教室のマグネット板にはり付けることができます。

平面モデルのため、全ての染色分体が観察できるわけではありません。

有糸分裂

日本語

本書では解説を細胞周期に沿って9つの段階に分け、それぞれにイラストを付しています。これらのイラストは授業用にコピーして使うことができます。色を塗ったり、ラベルを貼ったり、個々の段階を正確に配列してみることで、学生は習ったことを易しく復習したり暗唱できます。

各イラストは弊社ホームページから無償ダウンロードすることもできます。

<http://www.3bscientific.com>

1. 間期、G₁期

細胞内に核小体(1)と核膜(2)が見られます。核には、遺伝情報を持つまだらせん状をしていない染色質(3)が含まれています。

細胞質に広がっている非常に微細な管、いわゆる微小管(4)は細胞の形の形成と保持に関与し、また、細胞運動と細胞内部の輸送プロセスを司っています。

細胞質内部には小胞体(5)が見られます。これは主に、水やイオンの細胞内輸送に係わる絡み合った管状の組織です。膜の外表にリボソームが付着したものを、粗面小胞体とよび、タンパク質合成に係わります。

ゴルジ体(ゴルジ装置)(6)は「細胞腺」とも言われ、扁平な袋の積み重なりと、これに付随する多数の小胞＝ゴルジ小胞(7)および空胞群からなる複合体です。ゴルジ体は、小胞体がちぎれてできた輸送小胞をとおりタンパク質を受け取り、ゴルジ体の中で濃縮した後、分泌します。ゴルジ体から分泌された小胞は細胞膜やリソソーム(消化小胞)(8)などに選別輸送されます。

リソソームは細胞内外のさまざまな物質を加水分解します。細胞のためのエネルギー発生に係わる細胞小器官がミトコンドリア(9)です。

中心体(10)は核分裂時に紡錘体を形成します。形状は縦に配列した管(微小管)に囲まれた中空の円筒です。

2. 前期

細胞は分裂の準備のため、それ以外の機能を中断します。細胞表面の浸透性が増し、周囲からの液体摂取を促します。細胞骨格を支える微小管が分解するにつれて、細胞質の粘性も弱まります。

核膜(1)と核小体(2)も分解し始めます。核内部では先行するS期で複製により倍加したDNAが凝縮し始め、染色体の輪郭が現れて、それぞれ2個1対の姉妹染色分体(3)を形成します。これら染色分体の各々には、セントロメア(4)と呼ばれる特殊なDNA連鎖が含まれており、これが娘細胞への分裂に係わっています。

間期の間に複製され、対になった中心体(5)は、お互いから離れて、それぞれ細胞の両極へ向かって移動します。そして互いの間に、たくさんの微小管からなる紡錘体(6)を形成し、周辺に存在するミトコンドリア(7)とリソソーム(8)は脇へ押しのけます。

3. 前中期 A

前中期 A において核小体は消失し、核膜も分解して膜小胞 (1) となります。細胞核内の染色体 (2) はさらにはっきりと輪郭を整えます。

2 つの中心体 (3) は両極へと進み続けます。核の外側に離れて位置していた紡錘体の微小管 (4) は核の領域へ入りこんできて、それぞれの染色分体上の中央あたりに位置するキネトコア (動原体) (5) へ付着します。キネトコアは、この目的のためにセントロメア内部に生じたタンパク質複合体です。

小胞体 (6) とゴルジ体 (7) も分解し始めます。

4. 前中期 B

核膜 (1) の分解はほぼ完了し、2 個の中心体 (2) はそれぞれ反対側の極に到達します。紡錘体の微小管 (3) が、それらにつながっている染色分体 (4) を一列に並べ始めます。

脇へ押しのけられていたミトコンドリア (5) とリソソーム (6) は細胞質内で再び均等に配置されます。

小胞体 (7) とゴルジ体 (8) はほぼ完全に消失します。

5. 中期

紡錘体 (1) の微小管は、対になった個々の染色分体 (3) のキネトコア (2) に確実に付着します。中期の間、染色分体は短くなり、紡錘体両極間のちょうど中間の赤道面に沿って並び、中期板を形成します。上から見ると、星形になっています。

6. 後期 A

後期 A で、姉妹染色分体 (1) が分離して、同じ遺伝情報を持つそれぞれの染色分体は、独立した染色体を形成します。分離は紡錘糸が付着したキネトコア (2) より起こり、染色体は微小管 (3) が短くなるにしたがって、両細胞極の中心体 (4) へとゆっくり引き寄せられます。

7. 後期 B

後期 B においては、染色体 (1) が細胞極に達して、2 つの星状体を形成します。キネトコアに付着していた微小管 (2) は中心体 (3) の付近で染色体から遊離します。逆に染色体につながっていなかった微小管 (4) は長くなって、両極の中心体間の距離を押し広げ、細胞を極の方向に引き伸ばします。赤道面では、分裂溝 (5) の形成の始まりを確認できます。

8. 終期

終期になると、キネトコアに付着していた微小管は完全に消えてしまい、残っている微小管 (1) だけが 2 つの細胞極を互いに結びつけています。新しい核膜 (2) が、両極の染色体群の周囲に出現し始めます。凝縮した DNA (3) が再び長くなり始め、新しい核小体も形作られてきます。

赤道面の分裂溝が収縮して、リング状にくびれ、細胞質が狭窄されることで、新しい 2 つの細胞の分裂へと至るのです。

9. 細胞質分裂

染色体 (1) はさらに細く長くなり、小胞体 (2) とゴルジ体 (3) が再び発達します。

細胞体は、2 つの娘核の間にある分裂溝 (4) のくびれから、均等に二分されます。細胞質分裂の間、2 つの娘細胞の間にはしばしば薄い細胞質の橋が見られます。2 つの娘細胞が完全に分離すると、細胞質分裂の終了です。

新しくできたばかりの 2 つの娘細胞はもとの母細胞よりも小さいですが、その後、成長して本来の大きさに達します。分裂完了後、娘細胞は間期を経過して、再び分裂を繰り返します。

Митоз известный также, как непрямо́е деление ядра или эквационное деление, является наиболее распространенным типом воспроизведения клеток. В ходе этого процесса, одна клетка (материнская или родительская клетка) делится на две дочерних клетки с идентичной ДНК (=генами, содержащими наследственный материал) и идентичным количеством хромосом. Митоз жизненно важен для роста и поддержания жизни во всех живых организмах.

Организм человека состоит приблизительно из 10^{15} - 10^{16} клеток. В быстро растущих тканях (например кишечном эпителии) клетки делятся митозом приблизительно каждые 12-35 часов, в более медленно растущих тканях (например в сухожилиях) – приблизительно каждые 3-6 месяцев.

В клеточном цикле, основное различие делают между **интерфазой**, которая соответствует периоду между двумя делениями клетки, и фазой собственно деления - **митозом**.

Следующая фаза, не являющаяся частью этого цикла, известна как фаза G_0 . Эта фаза клеточного роста и дифференцировки без процессов подготовки к делению. В этой фазе клетка может необратимо утратить способность к делению (например, мышечные клетки), или, после фазы G_0 различной продолжительности, может снова войти в клеточный цикл, который в таком случае начнется с фазы G_1 .

Интерфаза включает 3 стадии:

- **Фаза G_1 (пресинтетическая)**

В этой фазе клетка начинает готовиться к предстоящему митозу. Активируется рост всех частей клетки и происходит удвоение центриолей. В быстро растущих клетках длительность этой фазы равна приблизительно 3-м часам.

- **Фаза S (синтез)**

В этой фазе количество ДНК удваивается путем репликации, в рамках дальнейшей подготовки к предстоящему делению клетки. В быстро растущих клетках длительность этой фазы равна приблизительно 8 часам.

- **Фаза G_2 (постсинтетическая)**

На этой стадии происходят последние приготовления ко входу в собственно митоз. Хромосомы конденсируются и «проверяется» правильность построения ДНК. К концу этой фазы, клетки человеческой/животной ткани разрывают контакты с соседними клетками, округляются и часто увеличивают свой объем за счет поглощения жидкости. В быстро растущих клетках длительность этой фазы равна приблизительно 4 часам.

Митотический цикл включает следующие фазы:

- **Профаза**
- **Ранняя прометафаза**
- **Поздняя прометафаза**
- **Метафаза**
- **Ранняя анафаза**
- **Поздняя анафаза**
- **Телофаза**
- **Цитокинез**

Длительность всех этих фаз в быстро растущих клетках составляет приблизительно один час.

В нижней трети моделей/иллюстраций видны клеточные органеллы в «открытой» клетке.

Серия моделей 3B Scientific® для изучения митоза поставляется с системой хранения, которая оборудована подвесным устройством. На двухмерной модели изображены не все хромосомы, а только те, которые видно на переднем плане. Серию моделей можно просто повесить на стену в целях экономии пространства. На обратной стороне моделей также имеются магниты, чтобы в целях обучения их можно было расположить на магнитных досках в классах.

В конце данного описания Вы найдете иллюстрации 9 фаз. Вы можете использовать их, чтобы изготовить фотокопии для Ваших занятий. Раскрашивая, подписывая и правильно располагая отдельные фазы, Ваши студенты смогут легко наглядно изучить и запомнить пройденный материал.

Цветные иллюстрации отдельных стадий также есть в свободном доступе в Интернете на сайте <http://www.3bscientific.com>

1. Интерфаза, Стадия фазы G₁.

Внутри клетки можно увидеть ядро с ядрышком (1) и ядерной мембраной (2). Ядро также содержит еще не конденсированную ДНК (3) с генетической информацией.

Собственно клетка поддерживает стабильность и форму благодаря очень тонким трубкам, так называемым микротрубочкам (4), протянутым через цитоплазму. Кроме всего прочего, микротрубочки контролируют движения клетки и процессы внутриклеточного транспорта.

В цитоплазме, можно увидеть эндоплазматический ретикулум (5). Это система переплетенных трубочек, ответственная главным образом за поддержание внутриклеточного транспорта воды и ионов. К мембране грубого эндоплазматического ретикулума прикреплены рибосомы, функцией которых является продукция белка.

Комплекс (или аппарат) Гольджи (6) называемый также «клеточной железой». Он состоит из нагромождения однослойных полых мешочков (цистерн Гольджи), которые выбухают в виде пузырьков и «отшнуровываются» (пузырьки Гольджи) (7). Комплекс Гольджи получает компоненты мембраны и ферменты из эндоплазматического ретикулума, и его основной функцией является накопление и распределение секретируемых веществ, а также продукция лизосом (переваривающих пузырьков) (8).

Основная функция лизосом - разрушение клеточных компонентов. Этот процесс может распространяться наружу клетки (=экзоцитоз) или происходить внутри клетки (=внутриклеточное переваривание).

Органеллы, которые служат для производства энергии в клетке, называются митохондриями (9).

Функцией центриолей (10) является построение веретена деления. Они представляют собой полые цилиндры, состоящие из продольно расположенных трубочек (микротрубочки).

2. Профаза

Клетка готовится к делению и прекращает свои обычные функции. Цитоплазма становится менее вязкой, так как исчезают стабилизирующие ее микротрубочки. Проницаемость клеточной поверхности повышается, чтобы позволить окружающей жидкости поступать в клетку. Растворяется комплекс микротрубочек, который является основой цитоскелета. Ядерная мембрана (1) и ядрышко (2) также начинают растворяться. В ядре начинается конденсация ДНК, что приводит к формированию четко определяемых хромосом. Каждая хромосома реплицировалась в предшествующей S фазе, и теперь состоит из двух сестринских хроматид (3). Каждая из этих двух сестринских хроматид содержит особую последовательность ДНК - так называемую центромеру (4), которая отвечает за разделение дочерних клеток. Пары центриолей (5), которые удвоились во время интерфазы, начинают двигаться в противоположных направлениях к двум полюсам клетки. Они формируют между собой так называемое центральное веретено (6), которое состоит из множества микротрубочек. Митохондрии (7) и лизосомы (8), присутствующие в этой области расходятся по сторонам.

3. Ранняя прометафаза

В ранней прометафазе ядрышко растворяется, а ядерная мембрана распадается на мембранные пузырьки (1). В ядре можно четко увидеть хромосомы (2). Две центриоли (3) продолжают следовать к полюсам. Микротрубочки (4) центрального веретена, которые ранее располагались далеко за пределами ядра, теперь могут проникать в ядро и присоединяться к кинетохорам (5), которые находятся посередине каждой удвоившейся хромосомы. Кинетохоры представляют собой протеиновые комплексы, которые формируются для этих целей на центромерах. Эндоплазматический ретикулум (6) и комплекс Гольджи (7) начинают растворяться.

4. Поздняя прометафаза

К этому времени клеточная мембрана (1) растворяется почти полностью и пары центриолей (2) достигают двух противоположных полюсов клетки. Микротрубочки (3) центрального веретена начинают выстраивать в линию прикрепленные к ним хромосомы (4).

Митохондрии (5) и лизосомы (6), которые были разведены по сторонам, теперь равномерно выстраиваются в линию в цитоплазме.

Эндоплазматический ретикулум (7) и аппарат Гольджи (8) к этому времени растворились практически полностью.

5. Метафаза

Микротрубочки центрального веретена (1) теперь присоединены точно к кинетохорам (2) каждой удвоившейся хромосомы (3). В течение метафазы хромосомы становятся короче и выстраиваются точно посередине между полюсами центрального веретена деления. Они формируют так называемую метафазную пластинку. При виде со стороны полюсов они имеют форму звезды (монастер или «материнская» звезда).

6. Ранняя анафаза

В ранней анафазе ранее удвоившиеся хроматиды (1) разделяются. В ходе этого процесса, сестринские хроматиды содержащие одинаковую генетическую информацию точно разделяются, формируя независимые хромосомы. Разделение начинается на парных кинетохорах (2), к которым были прикреплены тянущие волокна центрального веретена деления. С этой позиции хромосомы медленно растягиваются по направлению к центриолям (4), расположенным на полюсах клетки, двигаясь вдоль микротрубочек (3), которые создают эффект тяги за счет сокращения.

7. Поздняя анафаза

В поздней анафазе хромосомы (1) достигают полюсов клетки, формируя две «дочерние» звезды. Микротрубочки (2) центрального веретена, присоединенные к кинетохорам двух центриолей (3) одна против другой отсоединяются от них. Микротрубочки (4), которые теперь не присоединены к хромосомам, становятся длиннее, и таким образом увеличивают расстояние между центриолями, удлиняя клетку. В области экватора становится видна начинающаяся стадия образования борозды деления (5).

8. Телофаза

В телофазе микротрубочки, присоединенные к кинетохорам, полностью растворяются. Останутся только микротрубочки (1), которые соединяют два полюса клетки между собой. Вокруг двух отделившихся пар хромосом на полюсах клетки начинает формироваться новая ядерная мембрана (2). Конденсированная ДНК (3) вновь начинает удлиниться и начинает формироваться новое ядрышко.

Борозда деления на уровне экватора сжимается, формируя кольцо (4), активно конденсирующее цитоплазму, что приводит к дальнейшему делению новых клеток, которые начинают формироваться.

9. Цитокинез

Хромосомы (1) становятся тоньше и длиннее. Вновь развиваются эндоплазматический ретикулум (2) и комплекс Гольджи (3).

Тело клетки теперь разделено кольцом сокращения (4) точно посередине между двумя новыми дочерними ядрами. Во время цитокинеза, между двумя вновь образованными клетками часто остается тонкий мостик цитоплазмы. После того как обе дочерние клетки окончательно расходятся, цитокинез полностью завершен.

Две вновь образованные дочерние клетки по размерам меньше материнской клетки и достигают своего окончательного размера в процессе роста. Дочерние клетки вновь вступают в интерфазу, перед тем как еще раз удвоиться в процессе митотического деления.

有丝分裂，也可称为间接核分裂或者均等分裂，它是细胞再生的最广泛类型。在这一过程中，一个细胞（母细胞）会被分成具有相同DNA（包含遗传信息的基因）和同样数量染色体的两个子细胞。有丝分裂对于所有生物体的生长和保存，都是非常重要的。

人类的机体大概是由 10^{15} 到 10^{16} 个细胞所组成，在快速生长的组织（如肠上皮）细胞，大约每12-35个小时就会通过有丝分裂来增殖，在比较慢的组织（如肌腱），是每3—6个月才分裂一次。

在细胞的循环中，一个基本的分段是在分裂间期和实际的分裂阶段之间形成的，分裂间期是指两个细胞分裂之间的阶段，这个基本的分段被称为有丝分裂。

这个循环的下一个相被称为 G_0 相。这是一个细胞生长或者分化的阶段，还没有分裂的准备。在这个阶段，细胞会不可逆的失去分裂的能力（如肌细胞），或者在可变长度的 G_0 期，它可能会再次进入细胞循环，并以 G_1 相作为开始。

分裂间期包括3个部分:

- **G_1 相(合成前期)**

在这个阶段，细胞开始为即将到来的有丝分裂做准备。细胞所有组分的生长均被激活，而且中心粒被复制。在快速生长的细胞中，这个阶段的持续时间大约是3个小时。

- **S相(合成期)**

在这个阶段，通过DNA的复制，其数量会成倍，为即将到来的细胞分裂做进一步的准备。在快速生长的细胞中，这个阶段持续的时间大概8个小时。

- **G_2 相(合成后期)**

在这个阶段，要完成进入有丝分裂的最后的准备。染色体浓缩，DNA进行“校对”。在这个阶段结束时，人类/动物组织中的细胞会切断与周围临近细胞的联络，会通过液体的吸收增加容积，变得圆润。在快速生长的细胞中，这个阶段的持续时间大约是4个小时。

有丝分裂周期包括如下阶段:

- 前期
- 前中期早期
- 前中期晚期
- 中期
- 早后期
- 晚后期
- 末期
- 胞质分裂

在快速生长的细胞中所有阶段需要的时间大约是：1小时

3B Scientific®有丝分类的模型系列（产品号R01）和有丝分裂的壁挂图（V2049M,V2049U）显示一个典型的哺乳动物细胞，放大了大约10,000倍，在模型/图解的下三分之一，还有关于细胞器的描述。3B Scientific®有丝分类的模型系列被放置在一个存储系统中，此装置提供了一个悬挂装置。模型系列因而能够很简单的悬挂在墙上，节省了空间。在模型的后部还有磁体，以便于它们能够被安置在教室的磁铁板上，用于教学使用。由于这是一个二维的模型，并非所有的染色单体都会在可见的平面上显示。

在说明书的末尾您能够发现所包括的9个阶段的图解，您可以将这些图解复印来用于教学使用。通过彩色的、带有标记的以及正确安排的各个的阶段，您的学生能够很容易地复习和记忆他们所学习的。

在网上也可以找到各个阶段的免费彩图，网址是 <http://www.3bscientific.com>

有丝分裂

中文

1. 分裂间期, G₁ 相的阶段

在细胞内部, 可以见到带有核仁(1)及其核膜(2)的细胞核。核仁内还包括尚未螺旋的带有遗传信息的DNA (3)。细胞自身通过一种极细的管, 被称作微管(4), 在细胞质内部延伸来保持它的稳定性和形状。微管负责控制其他物质中细胞运动和细胞内的运输过程。

在细胞浆内, 可以看到内质网(5)。这是一个缠绕的管状系统, 主要负责细胞内水和离子的运输。内质网的膜上附着有核糖体, 核糖体的功能是合成蛋白。

高尔基复合体 (或高尔基器) (6) 也被称为“细胞腺体”, 它是由层状的空泡层堆积组成 (高尔基囊泡), 当小囊泡变小并且“干瘪”的时候 (高尔基小泡) (7), 它就会膨胀。高尔基复合体接受膜成分和来自内质网的酶。它的主要功能是收集、包裹和运输分泌物和产生溶酶体 (消化小泡) (8)。溶酶体的主要工作是让细胞成分崩解。它既能够从细胞内朝向细胞外 (胞吐作用), 也可以在细胞内部 (=细胞内消化)。线粒体 (9) 是负责生产细胞的能量。

中心粒 (10) 的工作是建成卵裂纺锤体, 它是空的圆柱状, 由纵形的管状物 (微管) 组成。

2. 前期

在这一期中, 细胞准备分裂, 并且废弃了它的功能。细胞质黏度变小了, 因为稳定的微管已经崩解。细胞表面的通透性增加, 允许周围的液体吸收。细胞骨架的基础——微管复合体溶解了。

核膜 (1) 与核仁 (2) 也开始溶解。在核内, DNA开始浓缩, 并形成精确定义的染色体。在前面的S相, 每个染色体都已经复制, 目前都包括 2 个姊妹染色单体(3)。每个姊妹染色单体都包括一个特殊的DNA序列, 被称为着丝粒(4), 来负责子细胞分离。

每对中心粒(5), 都在分裂间期复制, 开始朝细胞两极的方向运动。在它们之间形成所谓的纺锤体(6), 纺锤体包括许多微管。出现在这个区域内的线粒体(7)和溶酶体(8)都被推倒一边。

3. 前中期早期

在前中期的早期, 核仁溶解, 并且核膜溶解成膜泡(1)。在细胞核内的染色体(2)清晰可见。两个中心粒(3)继续朝向细胞的两极运动。到目前为止, 中心纺锤体的微管(4)还位于细胞核之外, 现在它能够穿透进入核的区域, 并连接到位于每个复制染色体中部的着丝点(5)上。着丝点是蛋白质复合物, 它已经为此目的在着丝粒上形成。

内质网(6)和高尔基复合体(7)开始溶解。

4. 前中期晚期

现在核膜(1)已经完全溶解, 并且中心粒对(2)已经到达细胞相反的两极。中心纺锤体的微管(3)开始排列于其相连接的染色体(4)。

线粒体(5)和溶酶体(6)已经被再一次的推开, 平均的排列在细胞浆内。

内质网(7)和高尔基复合体(8)现在已经几乎完全被溶解。

5. 中期

中心纺锤体(1)的微管现在已经精确地连接到每个两倍染色体(3)的着丝点(2)上。在中期, 染色体变得更短, 精确的排列在中心纺锤体两极的中部。他们形成了所谓赤道板。从顶端看, 它们成一个星形 (单星体或者“母星体”) 。

6. 早后期

在早后期, 以前复制的染色单体(1)分离了。在这个过程中, 包含相同基因信息的姊妹染色单体精确分离, 形成了独立的染色体。这种分离开始于着丝点对(2), 中心纺锤体的牵引纤维就是附着在那里。从这里, 同源染色体沿着微管 (3), 被慢慢的拖向位于细胞两极的中心粒(4), 因为微管变短, 而产生出收缩效应。

7. 晚后期

在晚后期, 染色体(1)到达了细胞的两极, 现在形成了两个“子”星。中心纺锤体的微管(2)与在两个中心粒 (3) 处与着丝点相连, 向彼此相反的方向退缩并且离断。不与染色体连接的微管 (4) 现在变得更长了, 因此, 就增加了中心粒与正在延伸的细胞之间的距离。在赤道水平, 卵裂沟(5)的开始阶段变得很明显。

8. 末期

在末期，与着丝点相连接的微管完全的溶解了，唯一被保留的微管(1)是那些与细胞两极相连的。在细胞两极两个分离的染色体对周围，开始形成新的核膜(2)。浓缩的DNS (3)开始再次伸长，形成新的核膜。

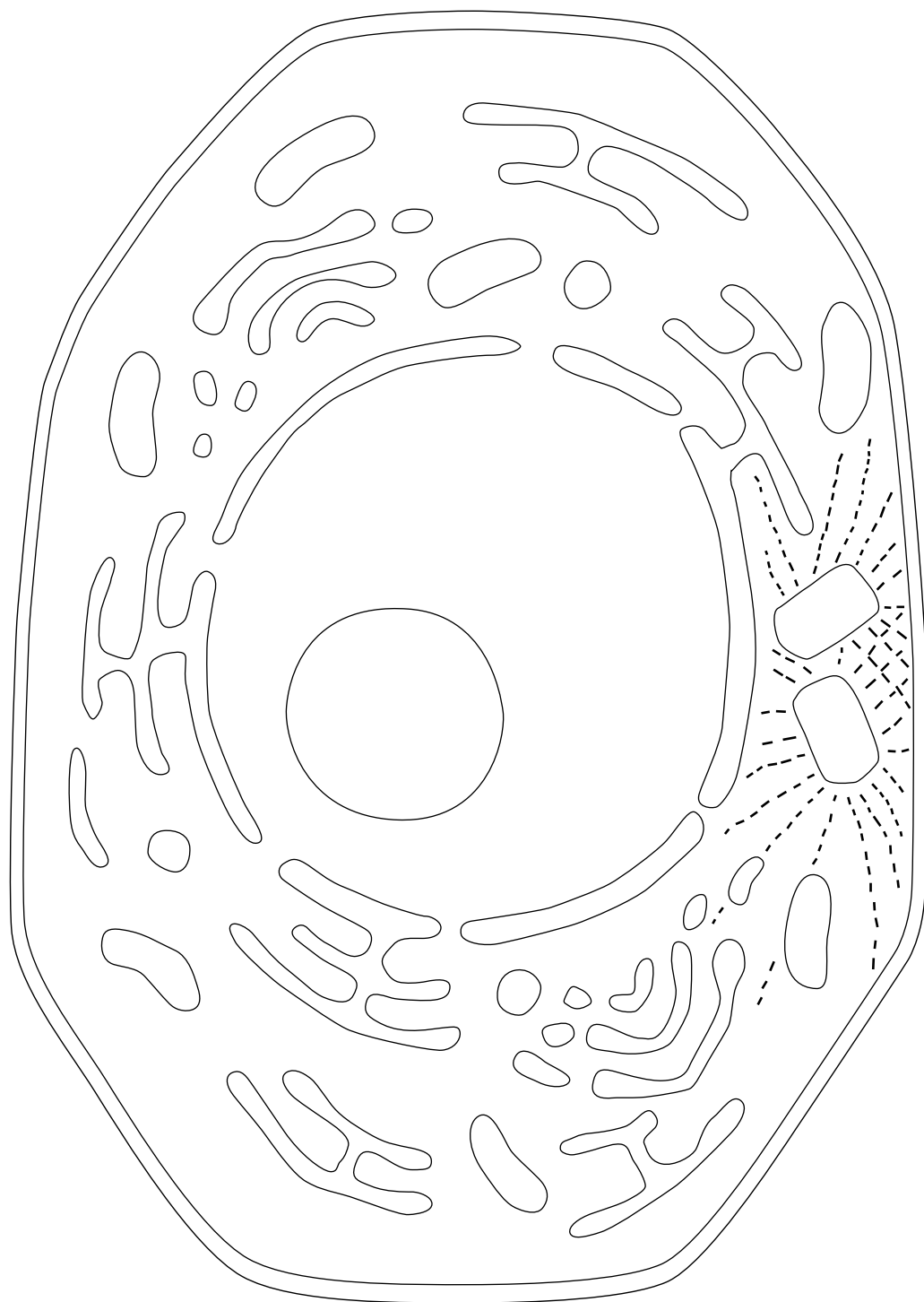
在赤道水平，卵裂沟被浓缩，收缩形成一个环(4)，细胞质也开始积极地浓缩，要形成新细胞的进一步的分离。

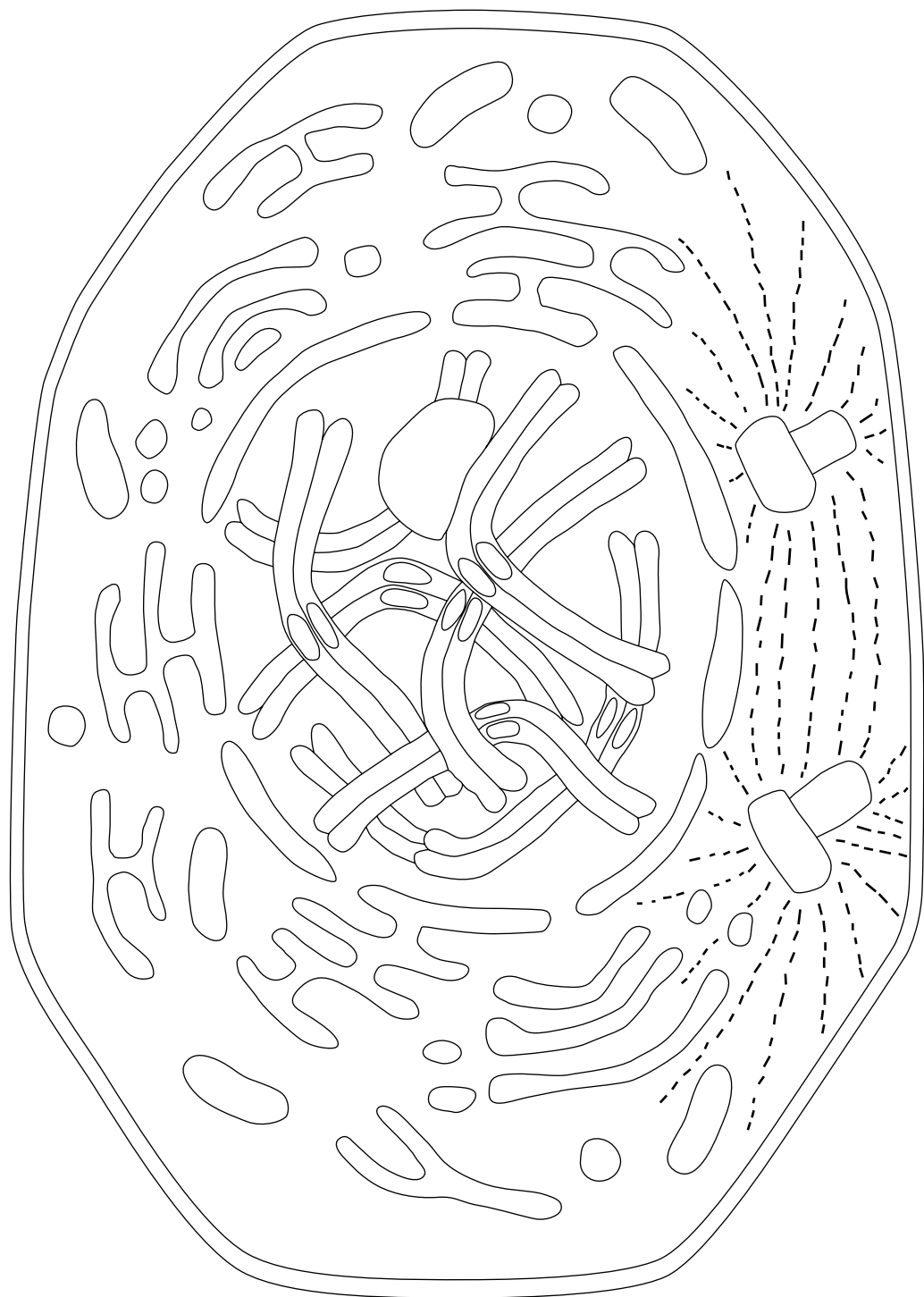
9. 胞质分裂

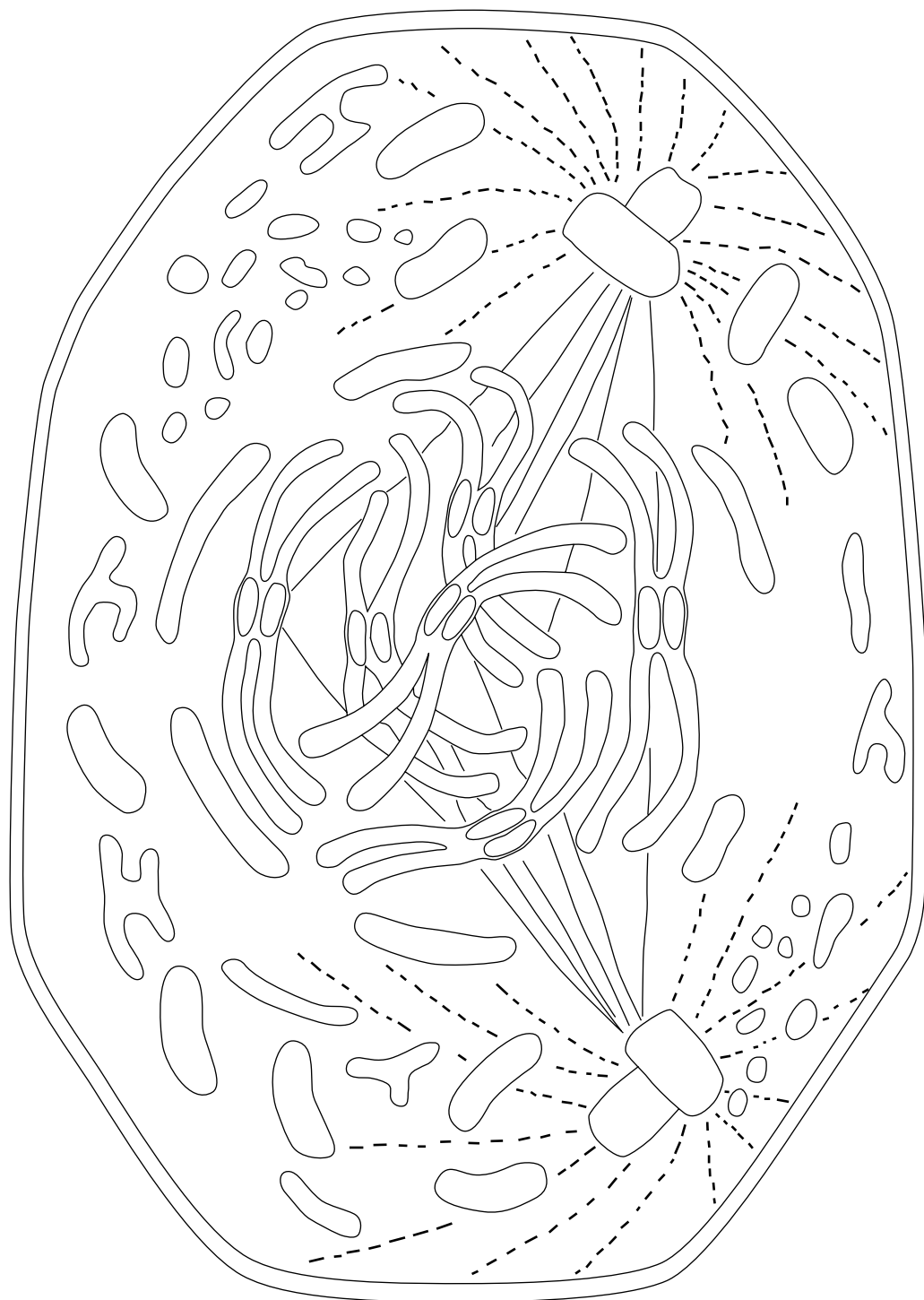
同源染色体(1)甚至变得更加细长。内质网(2)和高尔基复合体(3)形成。

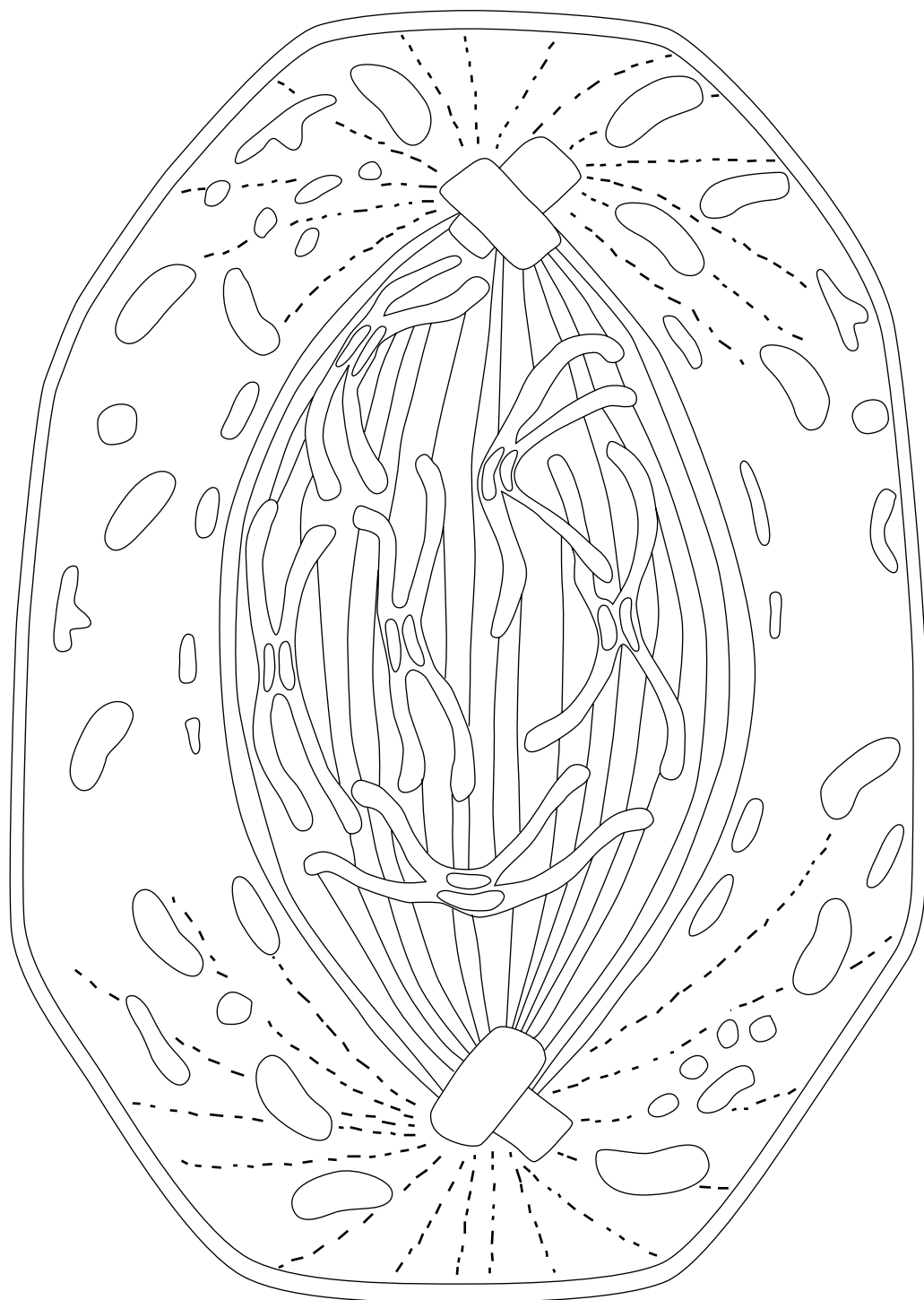
现在，细胞体于中部，就在两个新细胞核之间的环状狭窄的地方 (4)，开始确切的分离。在胞质分裂期间，在两个新形成的细胞之间，经常会保留有一个细的细胞质桥。一旦两个子细胞完全分离，胞质分裂就完成了。两个新形成的子细胞比它的母细胞要小，通过生长会达到其最终的大小。在其通过有丝分裂再一次复制之前，子细胞会再次进入细胞间期。

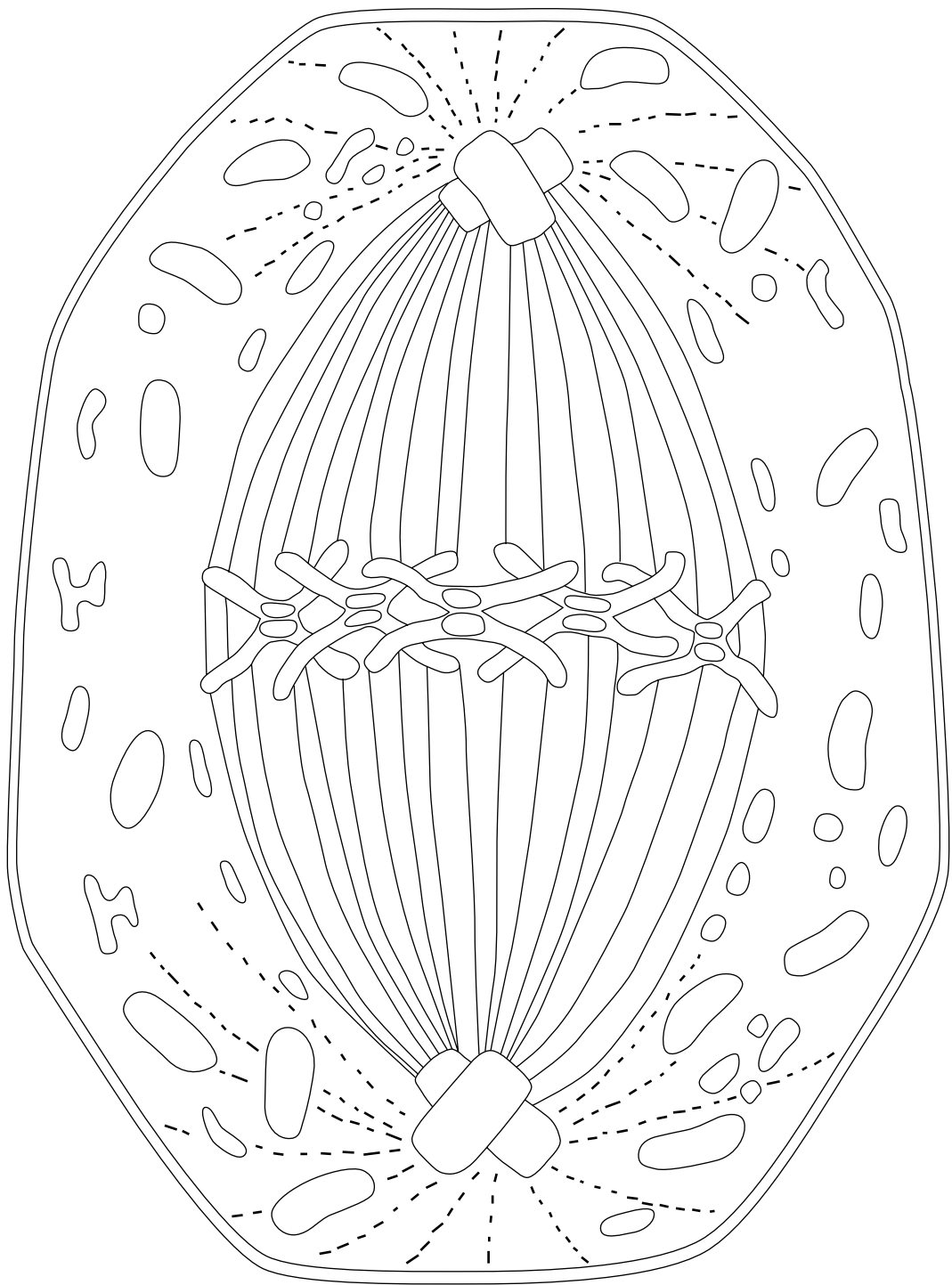


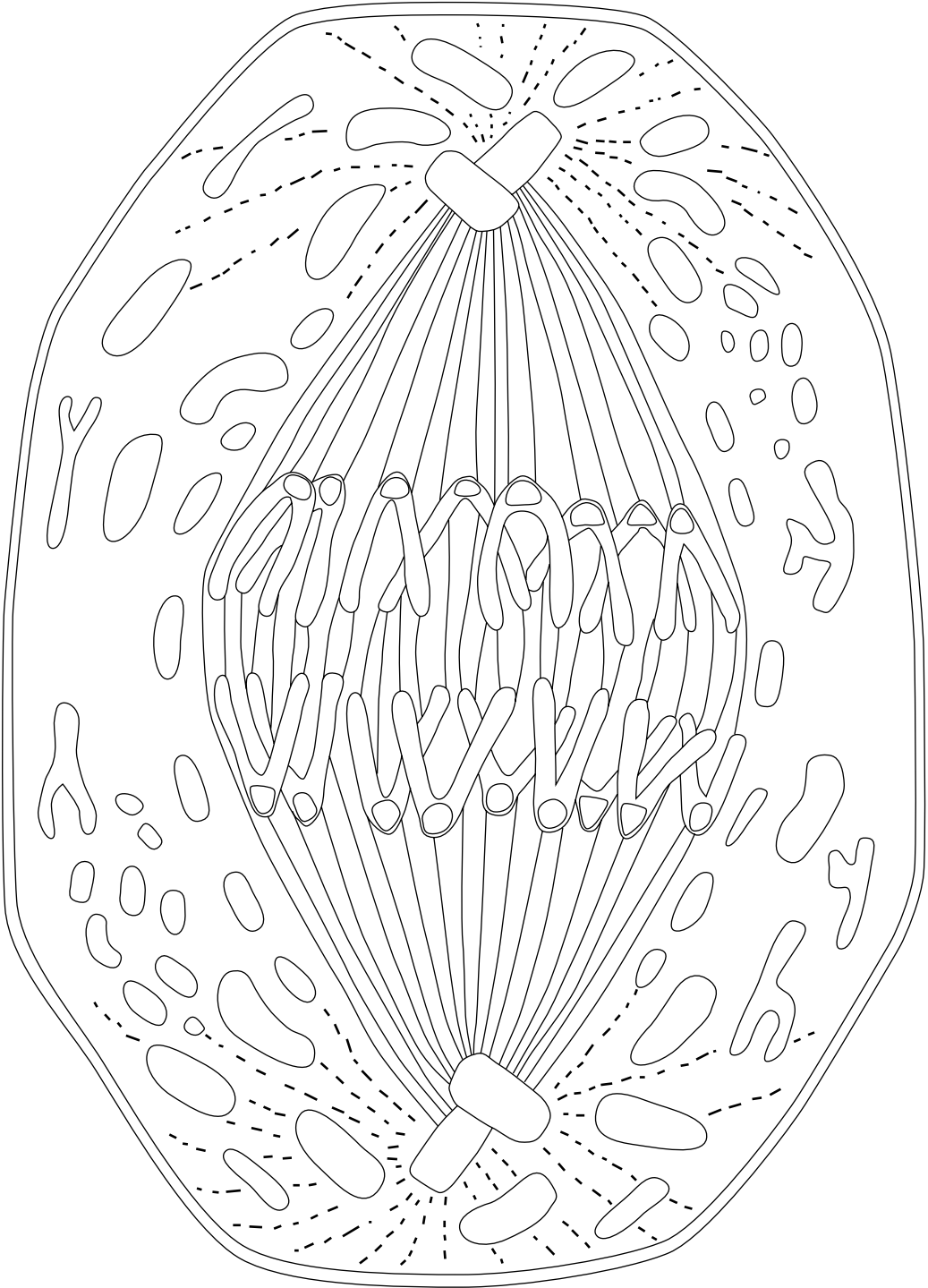


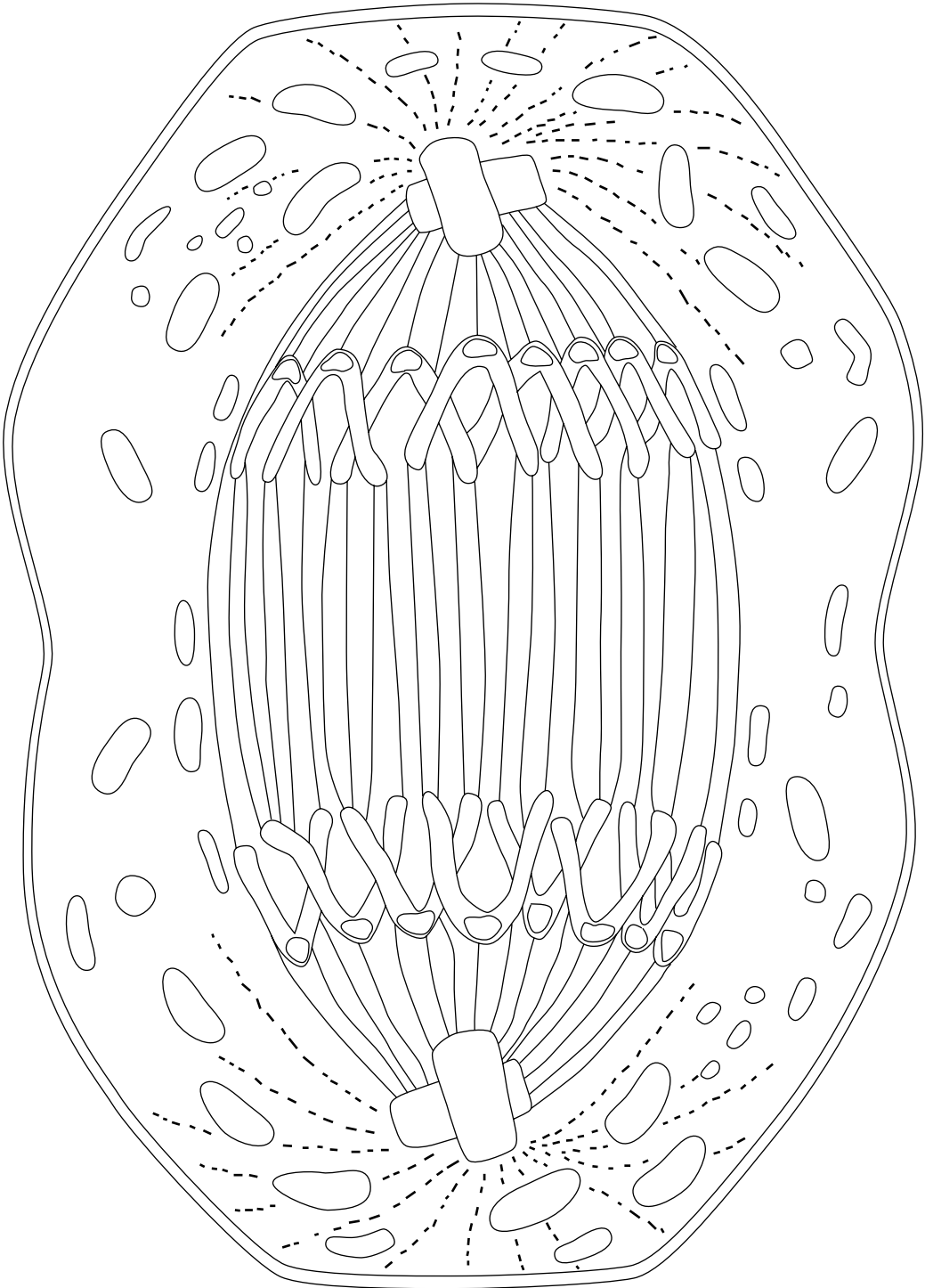


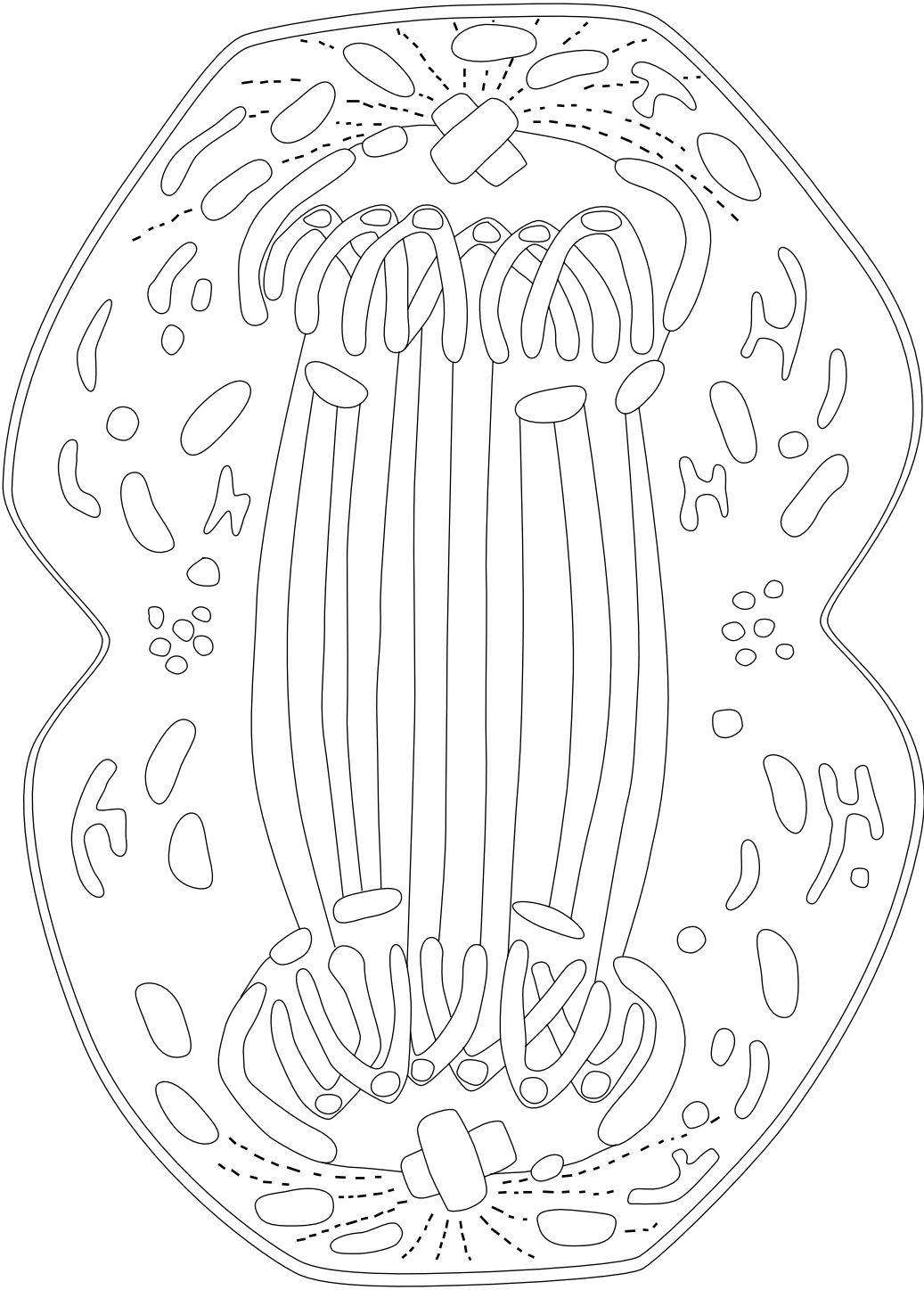














3B Scientific

A worldwide group of companies



3B Scientific GmbH

Rudorffweg 8 • 21031 Hamburg • Germany

Tel.: + 49-40-73966-0 • Fax: + 49-40-73966-100

www.3bscientific.com • 3b@3bscientific.com

© Copyright 2009 / 2012 / 2013 / 2014 for instruction manual and design
of product: 3B Scientific GmbH, Germany