R01, V2049

Mitosis

English

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.

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 G_1 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.

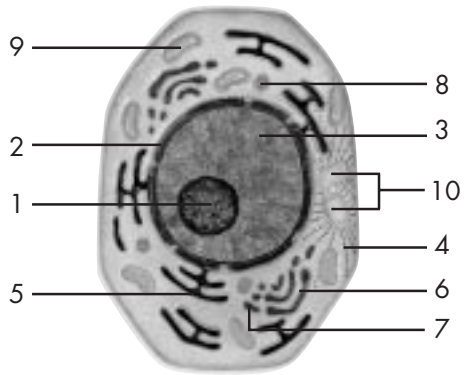
The cell itself receives its stability and shape from very fine tubes, the so-called microtubules (4) extending through the cytoplasm. The microtubules control, among other things, the cell movements and the intracellular transport processes.

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).

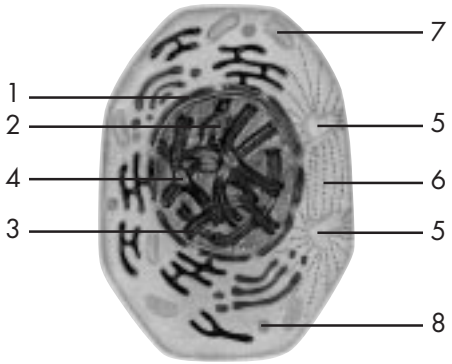
The job of the centrioles (10) is to build up the cleavage spindle. They are hollow cylinders made up of longitudinally arranged tubes (microtubules).



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.

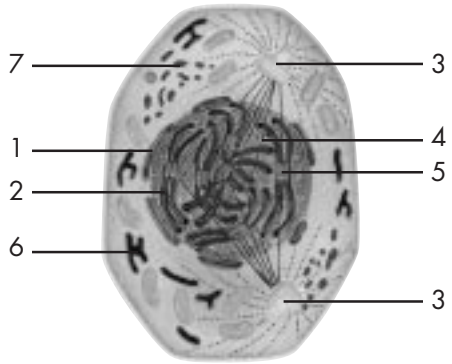
The pairs of centrioles (5), which were duplicated in the interphase, begin to move away from one another in the direction of the two cell poles. They form the so-called central spindle (6) between themselves, which consists of many microtubules. The mitochondria (7) and lysosomes (8) present in this 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.

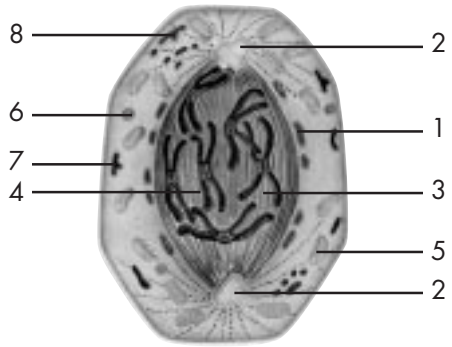
The endoplasmic reticulum (6) and the Golgi complex (7) begin to dissolve.



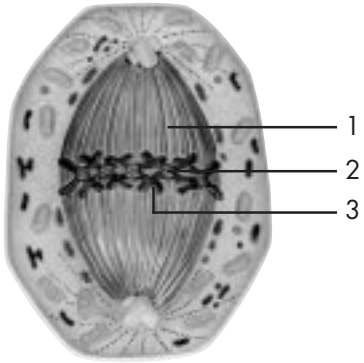
4. Later Prometaphase
Now the nuclear membrane (1) has dissolved almost completely and the centriole pairs (2) have reached the two poles of the cell opposite each other. The microtubules (3) of the central spindle begin to align the chromosomes (4) which are connected to them.

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

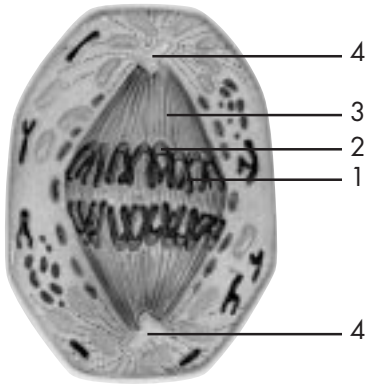
The endoplasmic reticulum (7) and the Golgi complex (8) are almost completely dissolved now.



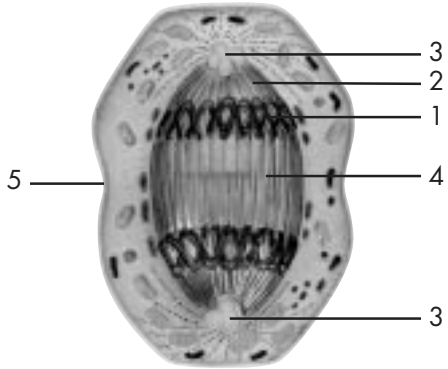
5. Metaphase
The microtubules of the central spindle (1) have now attached precisely to the kinetochores (2) of each doubled chromosome (3). During the metaphase the chromosomes become shorter and align exactly in the middle between both poles of the central spindle. They form the so-called metaphase 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.

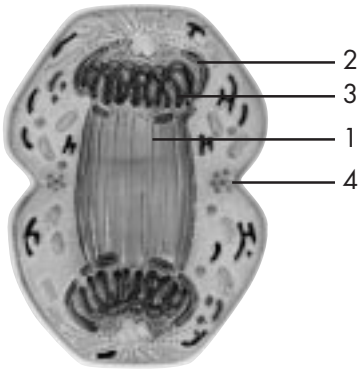


7. Later Anaphase
In the later anaphase the chromosomes (1) have reached the cell poles and now form two "daughter" stars. The microtubules (2) of the central spindles connected with the kinetochores at the two centrioles (3) opposite of each other recede and disconnect. The microtubules (4) that are 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.



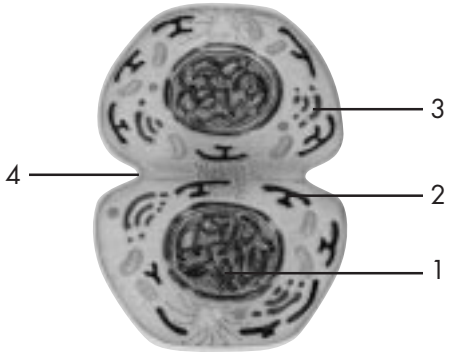
Mitosis

English

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.



Deutsch

Mitose

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.

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 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 G_1-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.

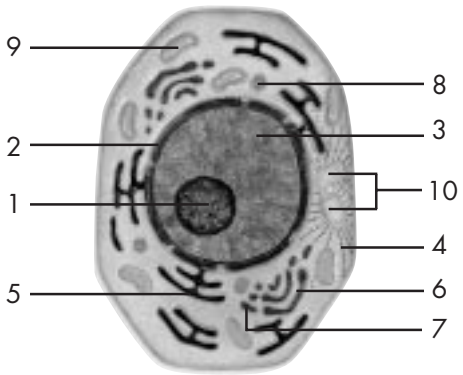
Die Zelle selbst erhält ihre Stabilität und Form durch sehr dünne Röhren, die sogenannten Mikrotubuli (4), die das Zellplasma durchspannen. Die Mikrotubuli steuern u.a. die Zellbewegung und die intrazellulären Transportprozesse.

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 rauhen 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.

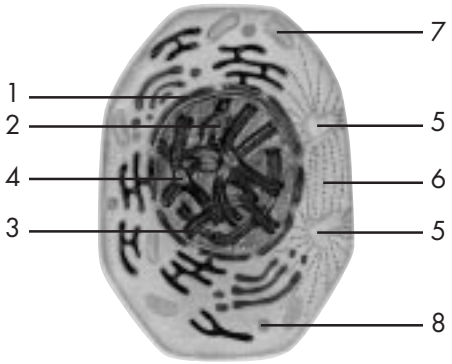
Aufgabe der Centriolen (10) ist es, die Teilungsspindel aufzubauen. Sie sind Hohlzylinder, die aus längsverlaufenden Röhren (Mikrotubuli) bestehen.



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.

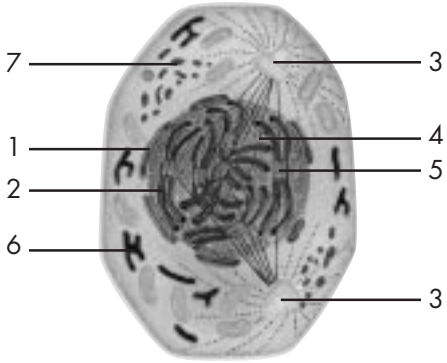
Die Centriolenpaare (5), welche in der Interphase verdoppelt wurden, beginnen, voneinander weg in Richtung der beiden Zellpole zu wandern. Sie bilden zwischen sich die sogenannte Zentralspindel (6), die aus vielen Mikrotubuli besteht. Die in diesem Bereich liegenden Mitochondrien (7) und Lysosome (8) 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.

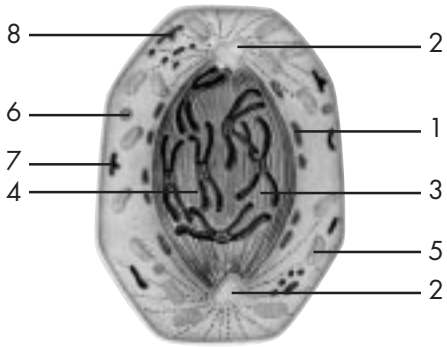
Das Endoplasmatische Retikulum (6) und der Golgi-Apparat (7) beginnen sich aufzulösen.



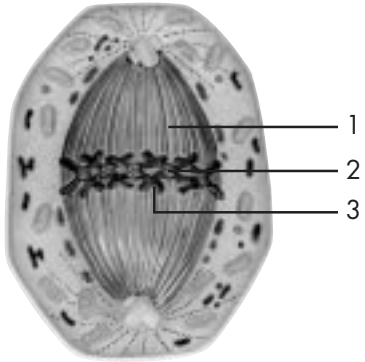
4. Späte Prometaphase
Jetzt hat sich die Kernhülle (1) fast vollständig aufgelöst und die Centriolenpaare (2) sind an den beiden gegenüberliegenden Polen der Zelle angekommen. Die Mikrotubuli (3) der Zentralspindel beginnen, die mit ihnen verbundenen Chromosomen (4) auszurichten.

Die zur Seite gedrängten Mitochondrien (5) und Lysosome (6) formieren sich wieder gleichmäßig im Zellplasma.

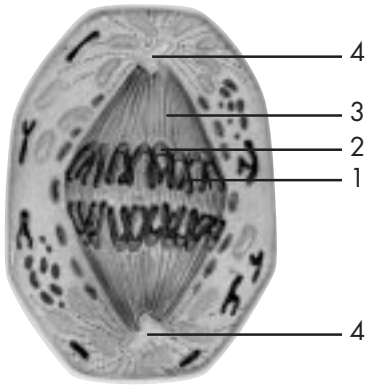
Das endoplasmatische Retikulum (7) und der Golgi-Apparat (8) sind jetzt fast vollständig aufgelöst.



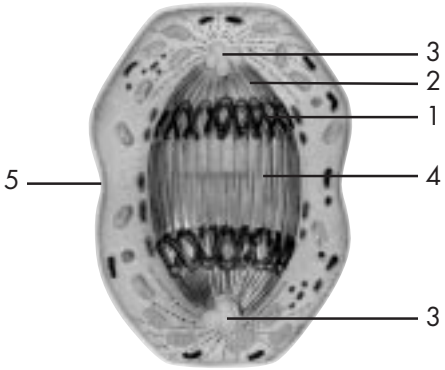
5. Metaphase
Die Mikrotubuli der Zentralspindel (1) haben jetzt exakt an den Kinetochoren (2) eines jeden verdoppelten Chromosoms (3) angesetzt. In der Metaphase verkürzen sich die Chromosomen und richten sich exakt in der Mitte zwischen den beiden Polen der Zentralspindel aus. Sie bilden die sogenannte 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.

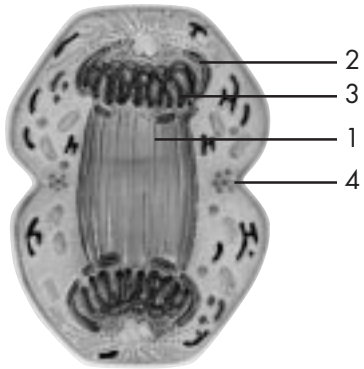


7. Späte Anaphase
In der späten Anaphase haben die Chromosomen (1) die Zellpole erreicht und bilden jetzt zwei sogenannte Tochtersterne. Die mit den Kinetochoren verbundenen Mikrotubuli (2) der Zentralspindeln an den beiden gegenüberliegenden Centriolen (3) bilden sich zurück und lösen sich voneinander. 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.

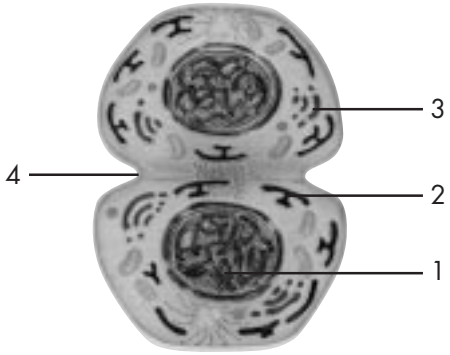
Die Schnürfurche in der Äquatorialebene verdichtet sich und es bildet sich ein sogenannter Schnürring (4), der das Zytoplasma aktiv zusammenzieht und zu einer weiteren Trennung der neu zu bildenden Zellen führt.



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.



Mitosis

Español

La mitosis, también denominada división indirecta del núcleó división ecuacional, es la forma más común de multiplicación celular. Una célula (célula madre se divide en dos células hijas con ácido deoxirribonucelico (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 peparativos 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**
- **Prometafase inicial**
- **Prometafase 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.

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 G_1
El interior de la célula muestra el nucleo celular y el nucléolo (1) con la membrana nuclear (2). El núcleo celular contiene el ADN aún no condensado (3) con la información genética.

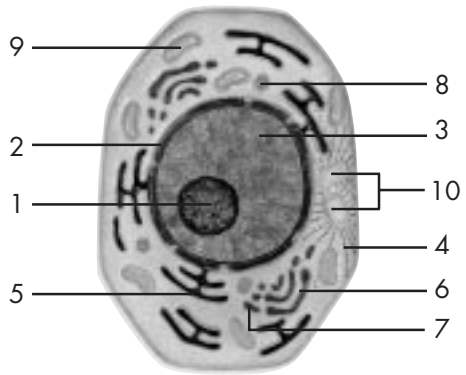
La célula mantiene su estabilidad y su forma gracias a unos tubos muy finos, denominados microtúbulos, que mantienen el citoplasma (4) en tensión. Estos microtúbulos dirigen los movimientos celulares y los procesos de transporte intracelular.

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.

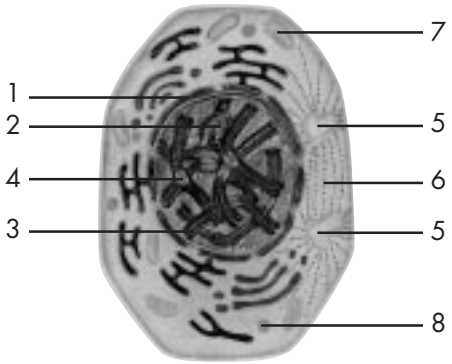
La función de los centriolos (10) es construir el husomitótico para la división. Son cilindros huecos formados por tubos largos (microtúbulos).



2. Profase
La célula se prepara para iniciar la división miótica. 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.

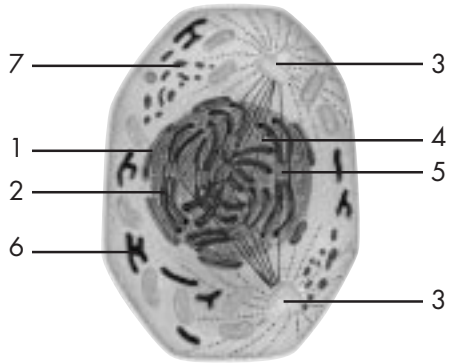
El par de centriolos (5), duplicados en la interfase, empiezan a migrar hacia los polos celulares. Entre ellos forman el denominado huso cromático (6), formado por numerosos microtúbulos. Las mitocondrias (7) y los lisosomas (8) que se encuentran en esta zona son desplazados hacia los lados.



3. Prometafase inicial
En la prometafase 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.

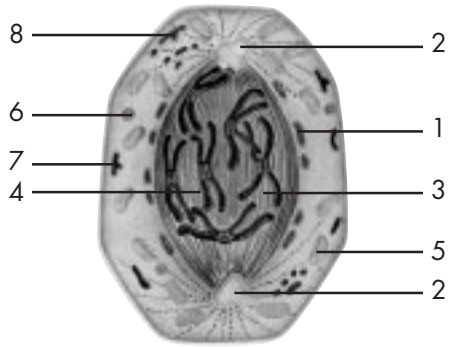
El retículo endoplasmático (6) y el aparato de Golgi (7) desaparecen.



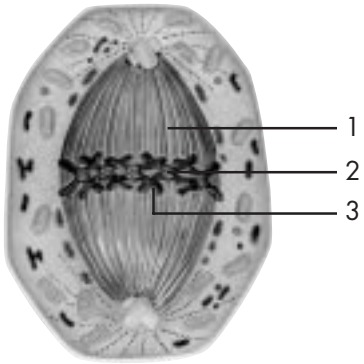
4. Prometafase avanzada
La membrana nuclear (1) ha desaparecido casi completamente y el par de centriolos (2) han alcanzado cada uno los polos celulares opuestos. Los microtúbulos (3) del huso cromático con los cromosomas adheridos a ellos empiezan a alinearse (4).

Las mitocondrias (5) y los lisosomas (6) recién formados se disponen de nuevo simétricamente en el citoplasma.

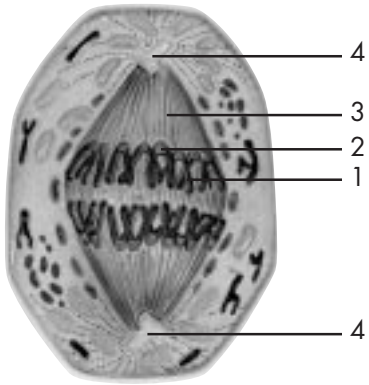
El retículo endoplasmático (7) y al aparato de Golgi (8) han desaparecido del todo.



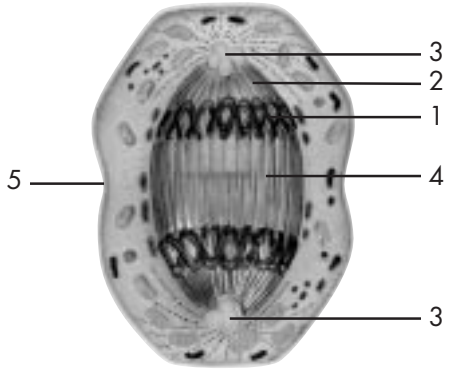
5. Metafase
Ahora, los microtúbulos del huso cromático (1) se han situado exactamente en los cinetocoros (2) que contienen cada uno una cantidad doble de cromosomas (3). En la metafase se condensan los cromosomas y alcanzan exactamente el centro equidistane de ambos polos del huso central. Constituyen 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 inserció 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.

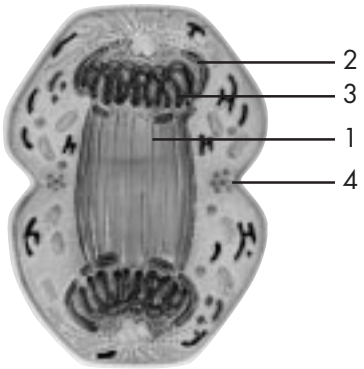


7. Anafase avanzada
Al final de la anafase, los cromosomas (1) han alcanzado el polo celular y constituyen ahora las llamadas estrellas hijas. Los microtúbulos (2) del huso cromático unidos alcinetocoro y al centriolo (3) se separan entre sí. Los microtúbulos (4), que no se encuentran unidos a los cromosomas, 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 célula hijas.



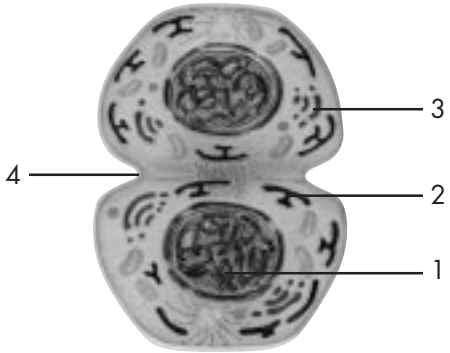
Mitosis

Español

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.



Français

Mitose

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**
- **Prométaphase précoce**
- **Prométaphase tardive**
- **Métaphase**
- **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.

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.

A la fin de cette description, vous trouvez des illustrations des 9 stades représentés que vous pouvez utiliser pour l'enseignement en les copiant. En peignant, en faisant des inscriptions et en classant les différents stades de manière correcte, vos élèves arrivent facilement à comprendre et à approfondir ce qu'ils viennent d'apprendre.

Les illustrations en couleur des différents stades sont également disponibles gratuitement sur Internet à l'adresse **http://www.3bscientific.com.**

1. Interphase, stade de la phase G_1

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.

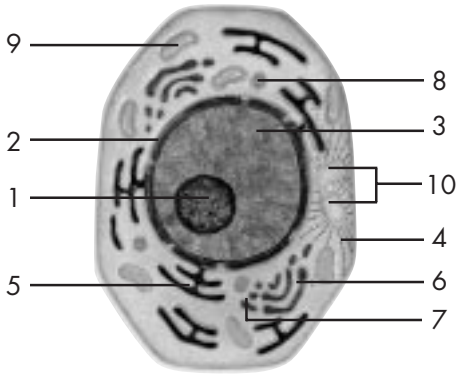
La cellule même doit sa stabilité et sa forme à des filaments appelés microtubules qui traversent et tendent le plasma cellulaire (4). Les microtubules commandent e.a. le mouvement cellulaire et les processus de transport intracellulaires.

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 (citernes de Golgi) qui s'y ballonnent et se détachent (vésicules de Golgi) (7). L'appareil de Golgi reçoit des éléments membraneux 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).

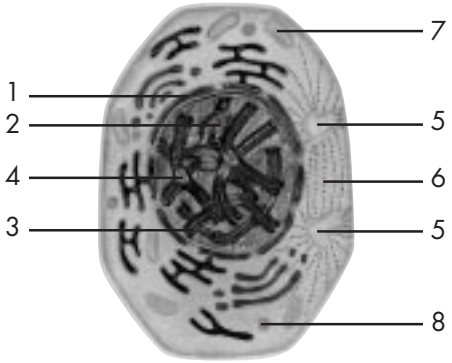


2. Prophase

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.

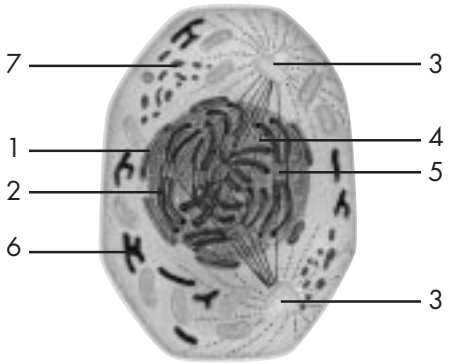
L'enveloppe nucléaire (1) et le nucléole (2) commencent également à se dissoudre. Dans le noyau, l'ADN commence à se condenser et à former des chromosomes précisément définis. Chaque chromosome s'est répliqué au cours de la phase S précédente et se compose maintenant de deux chromatides sœurs (3). Chacune 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 trouvant 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 membraneuse (1). Les chromosomes (2) à l'intérieur du noyau sont parfaitement visibles.

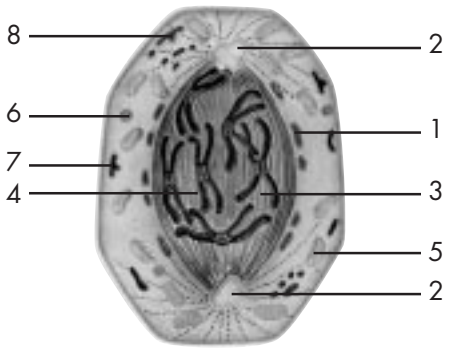
Les deux centrioles (3) continuent leur chemin en direction des pôles. Les microtubules (4) du fuseau central se trouvant jusqu'à présent à l'extérieur du noyau peuvent pénétrer dans la zone du noyau et s'attachent aux kinétochores (5) au centre de chaque chromosome répliqué. Les kinétochores sont des 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.



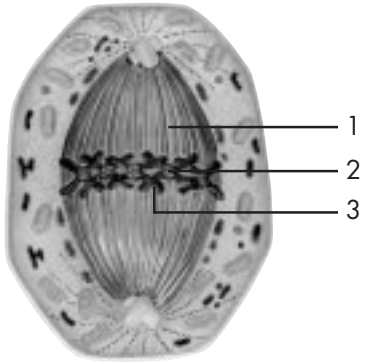
4. Prométaphase tardive
L'enveloppe nucléaire (1) est pratiquement dissoute et les couples de centrioles (2) ont atteint les deux pôles de la cellule se trouvant face à face. Les microtubules (3) du fuseau central commencent à disposer les chromosomes (4) leur étant attribués.

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

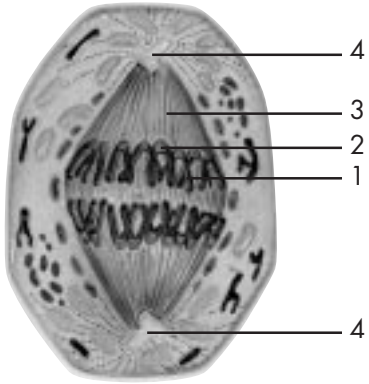
Le réticulum endoplasmique (7) et l'appareil de Golgi (8) sont maintenant pratiquement dissous.



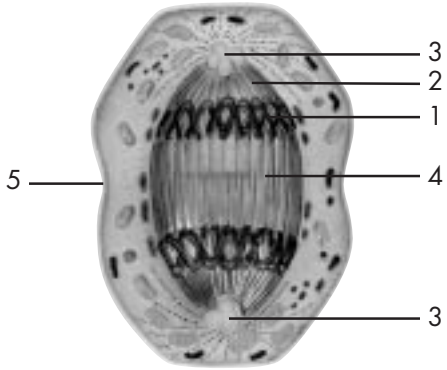
5. Métaphase
Les microtubules du fuseau central (1) se sont attachés de manière exacte aux kinétochores (2) de chaque chromosome (3) dédoublé. Au cours de la métaphase, les chromosomes se raccourcissent et se disposent exactement au milieu des deux pôles du fuseau central. Ils forment la plaque de la 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.

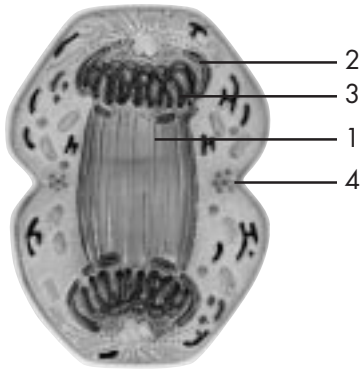


7. Anaphase tardive
Au cours de l'anaphase tardive, les chromosomes (1) ont atteint les pôles de la cellule et forment maintenant deux étoiles filles. Les microtubules (2) des fuseaux centraux reliés par les kinétochores aux deux centrioles (3) se trouvant face à face se résorbent et se détachent l'un 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.

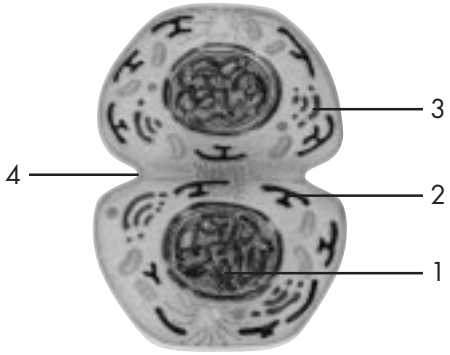
La fente de constriction de la plaque équatoriale s'épaissit et un anneau de constriction (4) se forme, contractant activement le cytoplasme et entraînant une séparation supplémentaire des cellules devant se former.



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 cytocinèse, un fin pont de cytoplasme est souvent conservé entre les deux nouvelles cellules, désigné par le terme de corps central. La cytocinèse 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.



Mitose

Português

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.

Português

Mitose

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 G_1

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.

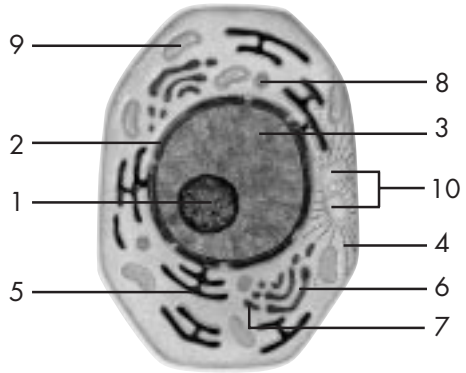
A célula recebe a sua estabilidade e forma através de cilindros extremamente finos, os chamados microtúbulos presentes no citoplasma (4). Os microtúbulos também são responsáveis pelo movimento da célula e pelos processos de transporte intracelulares.

Dentro do citoplasma podemos observar o retículo endoplasmático (5). Trata-se de uma complicada rede de tubos, responsável sobretudo pelo transporte de água e iônios no interior da célula. Aderidos à membrana do retículo endoplasmático encontram-se os ribossomos, cuja função consiste na produção de proteínas.

O complexo de Golgi (6) é também chamado a "glândula celular". Ele é constituído por empilhamentos de pequenos sacos achatados, em cujas bordas brotam pequenas vesículas (vesículas de Golgi) (7). O complexo de Golgi recebe enzimas e componentes para a formação de suas membranas do retículo endoplasmático. Sua função principal consiste no armazenamento e transporte de secreções e na síntese de lisossomos (vesículas cheias de enzimas digestivas) (8).

A função principal dos lisossomos é a digestão de material celular. Esta digestão pode ocorrer de dentro da célula para fora dela (=exocitose) ou dentro da própria célula (=digestão intracelular).

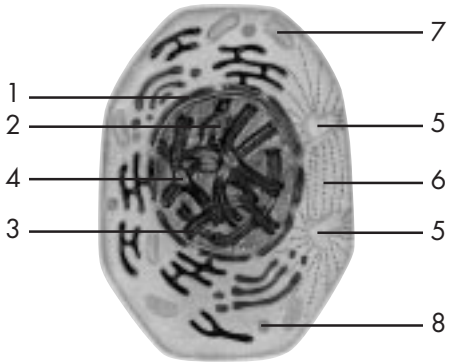
A energia dentro da célula é gerada pelas mitocôndrias (9). O papel dos centríolos (10) consiste em formar o fuso de divisão. Os centríolos têm a forma de cilindros ocos, formados por túbulos longitudinais (microtúbulos).



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.

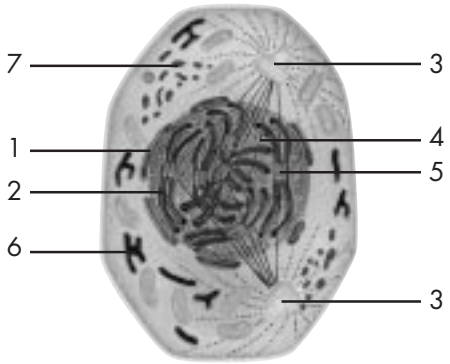
A carioteca (membrana nuclear) (1) e o nucléolo (2) também começam a se desintegrar. No núcleo da célula, o DNA começa a se condensar e a formar cromossomos bem definidos. Cada cromossomo sofreu a replicação durante a fase S precedente e é agora constituído por respectivamente duas cromátides irmãs (3). Cada uma destas cromátides irmãs contém uma determinada seqüência 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.

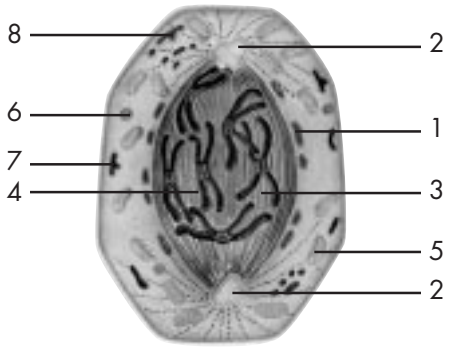
Os dois centríolos (3) continuam a se afastar em direção aos pólos. Os microtúbulos do fuso mitótico (4), que até então encontravam-se fora do núcleo, podem agora penetrar a área do núcleo e prendem-se aos cinetócoros (5) no centro de cada um dos cromossomos duplicados. Os cinetócoros são complexos de 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.

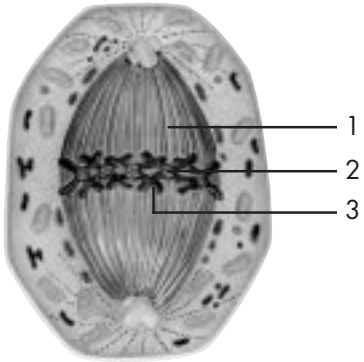
As mitocôndrias (5) e os lisossomos (6) anteriormente deslocados para os lados distribuem-se novamente pelo citoplasma.

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



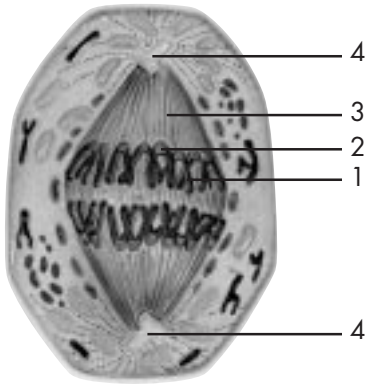
5. Metáfase

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).



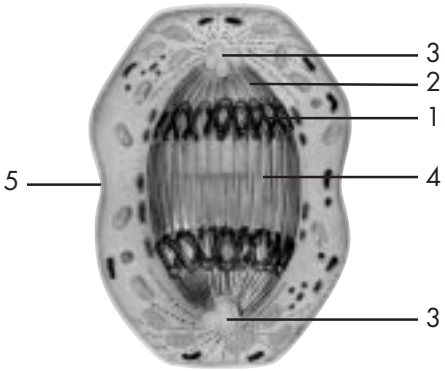
6. Anáfase inicial

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

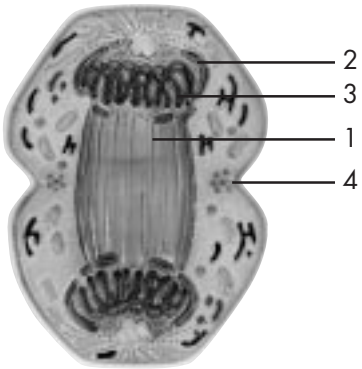
Durante esta fase os cromossomos (1) chegaram aos pólos da célula, formando duas assim chamadas estrelas-filhas. Os microtúbulos (2) dos fusos mitóticos nos dois centríolos (3) opostos que estão ligados aos cinetócoros encurtam-se e se desprendem uns dos outros. Os microtúbulos (4) que não estão ligados 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.



Mitose

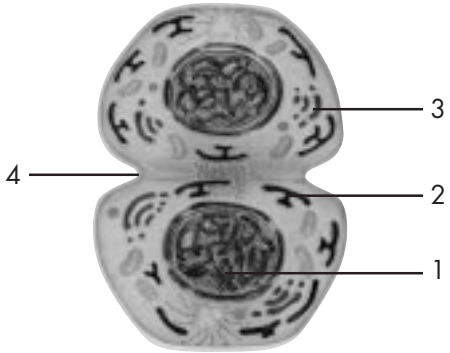
Português

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.



日本語

有糸分裂

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}～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。

➢ **G_1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、G_1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、この期間はおよそ８時間です。

➢ **G_2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よそ１時間です。

分裂を続けない細胞はG_1期からこの細胞周期を外れ、G_0期と呼ばれる状態に入ります。G_0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、およそ１万倍の大きさで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。

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、 G_1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。

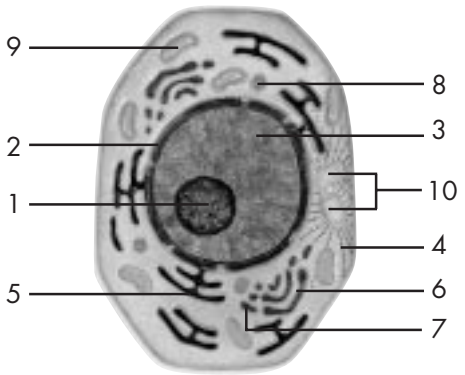
細胞質に広がっている非常に微細な管、いわゆる微小管 (4) は細胞の形の形成と保持に関与し、また、細胞運動と細胞内部の輸送プロセスを司っています。

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。膜の外表にリボゾ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し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。



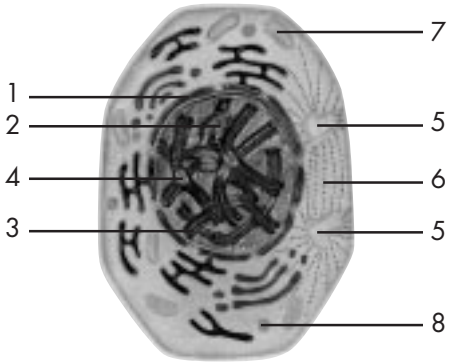
日本語

有糸分裂

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。

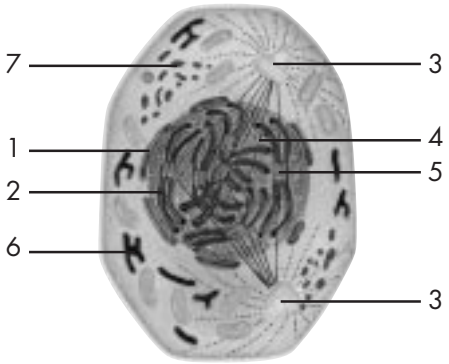


3. **前中期Ａ**
前中期Ａにおいて核小体は消失し、核膜も分解して膜小胞 (1) となります。細胞核内の染色体 (2) はさらにはっきりと輪郭を整えます。

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。

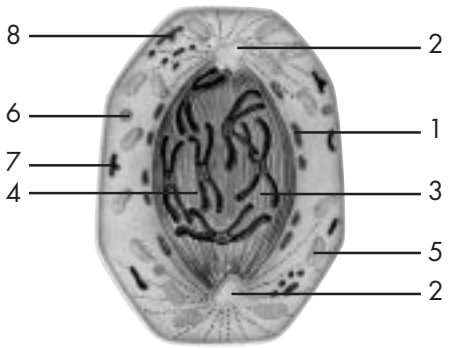
有糸分裂



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。

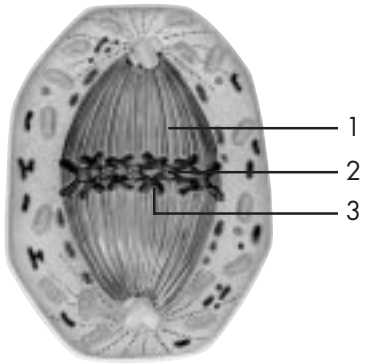
脇へ押しのけられていたミトコンドリア (5) とリソソーム (6) は細胞質内で再び均等に配置されます。

小胞体 (7) とゴルジ体 (8) はほぼ完全に消失します。

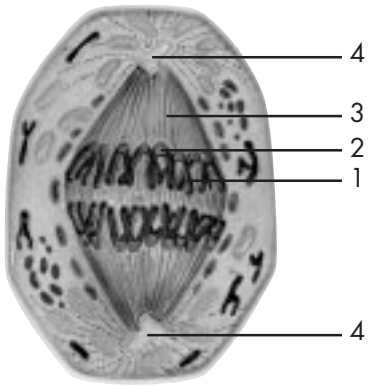


有糸分裂

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。



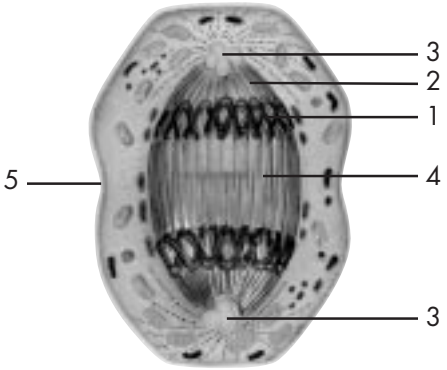
6. 後期 A
後期 A で、姉妹染色分体 (1) が分離して、同じ遺伝情報を持つそれぞれの染色分体は、独立した染色体を形成します。分離は紡錘糸が付着したキネトコア (2) より起こり、染色体は微小管 (3) が短くなるにしたがって、両細胞極の中心体 (4) へとゆっくり引き寄せられます。



有糸分裂

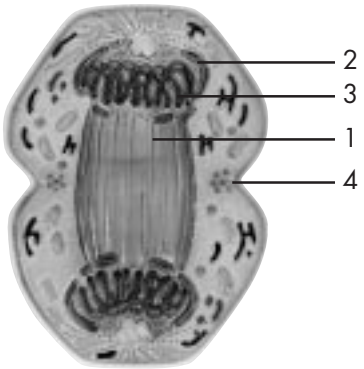
日本語

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。



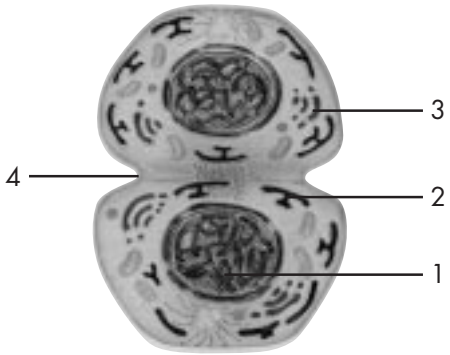
日本語

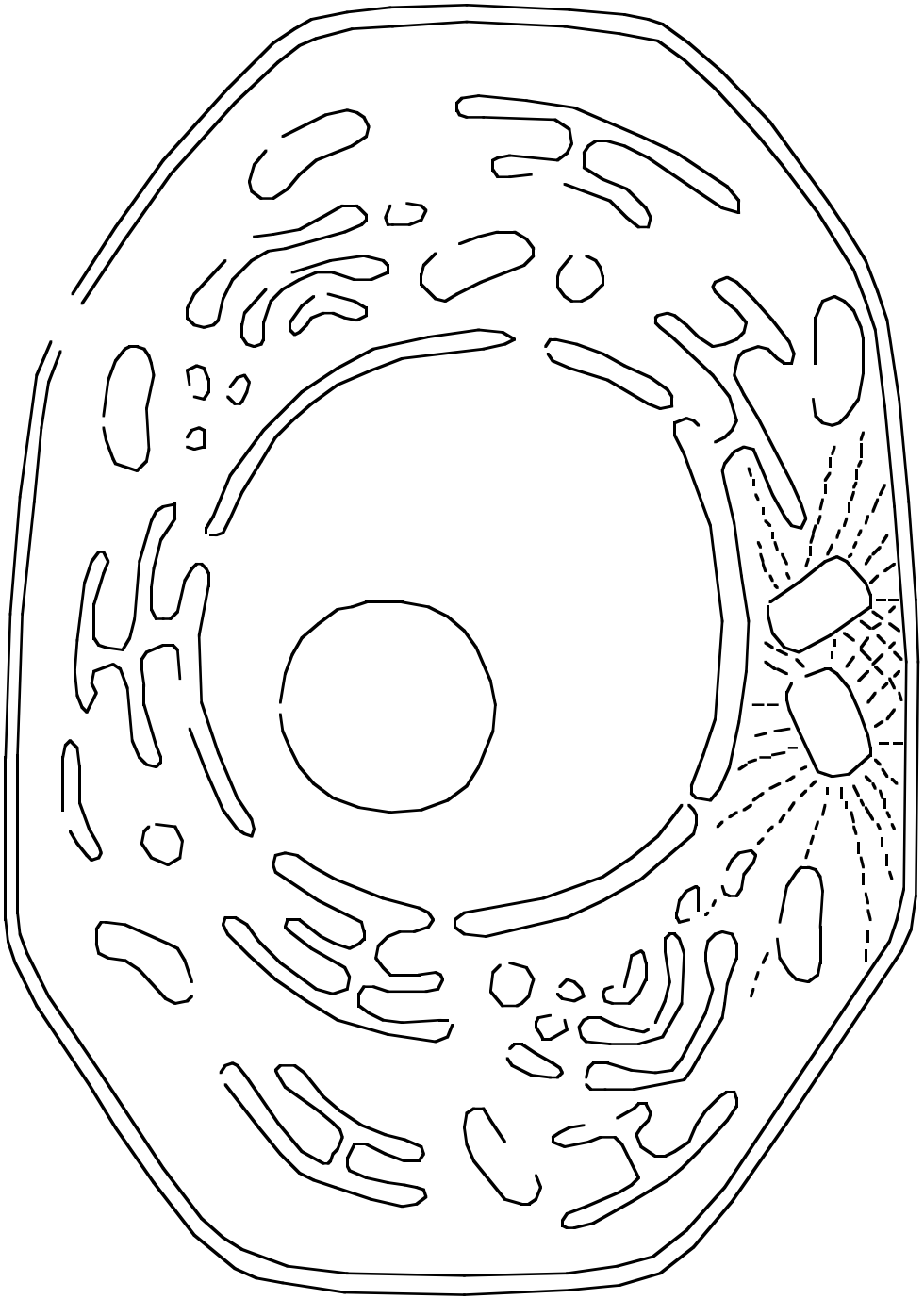
有糸分裂

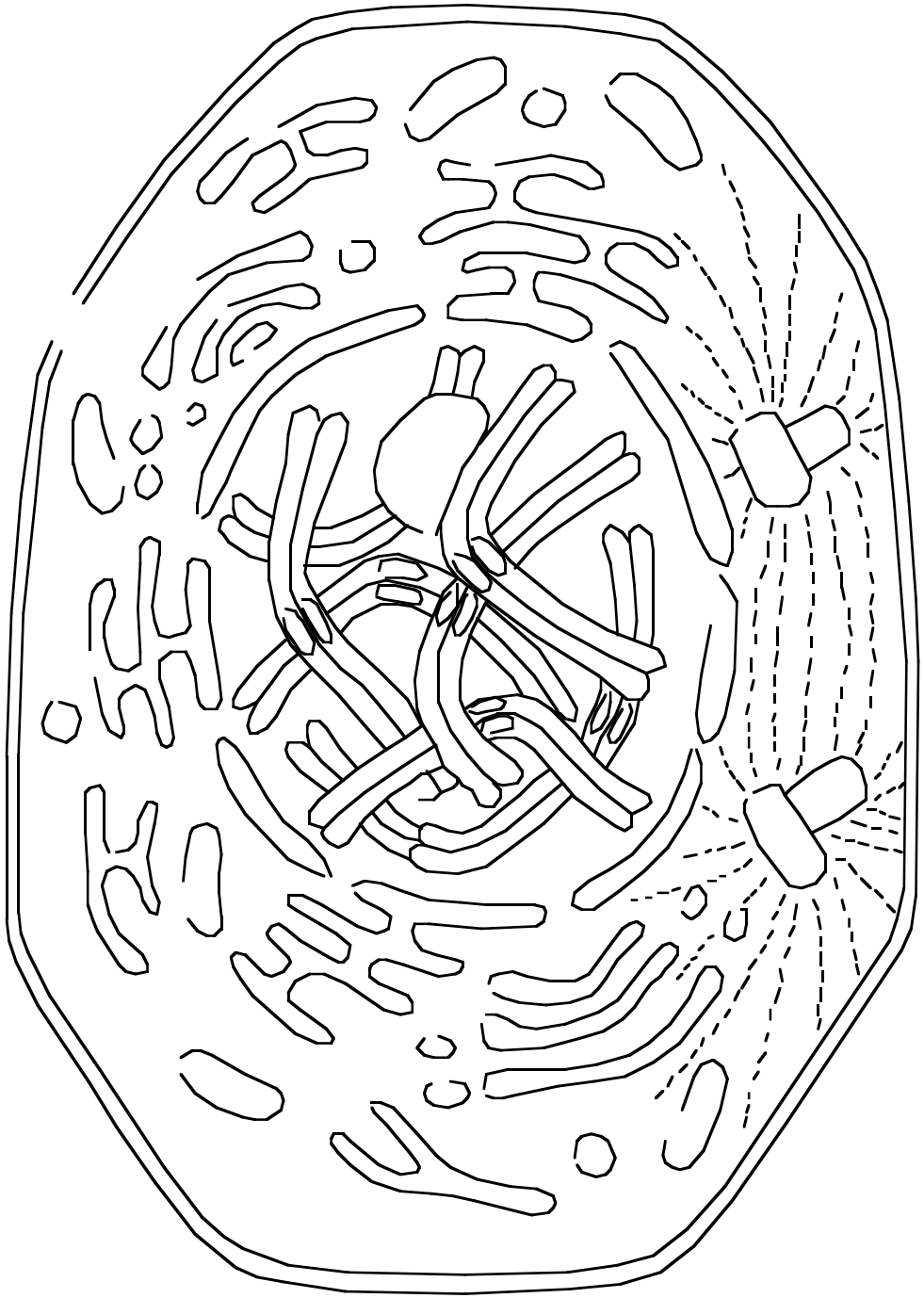
9. 細胞質分裂
染色体 (1) はさらに細く長くなり、小胞体 (2) とゴルジ体 (3) が再び発達します。

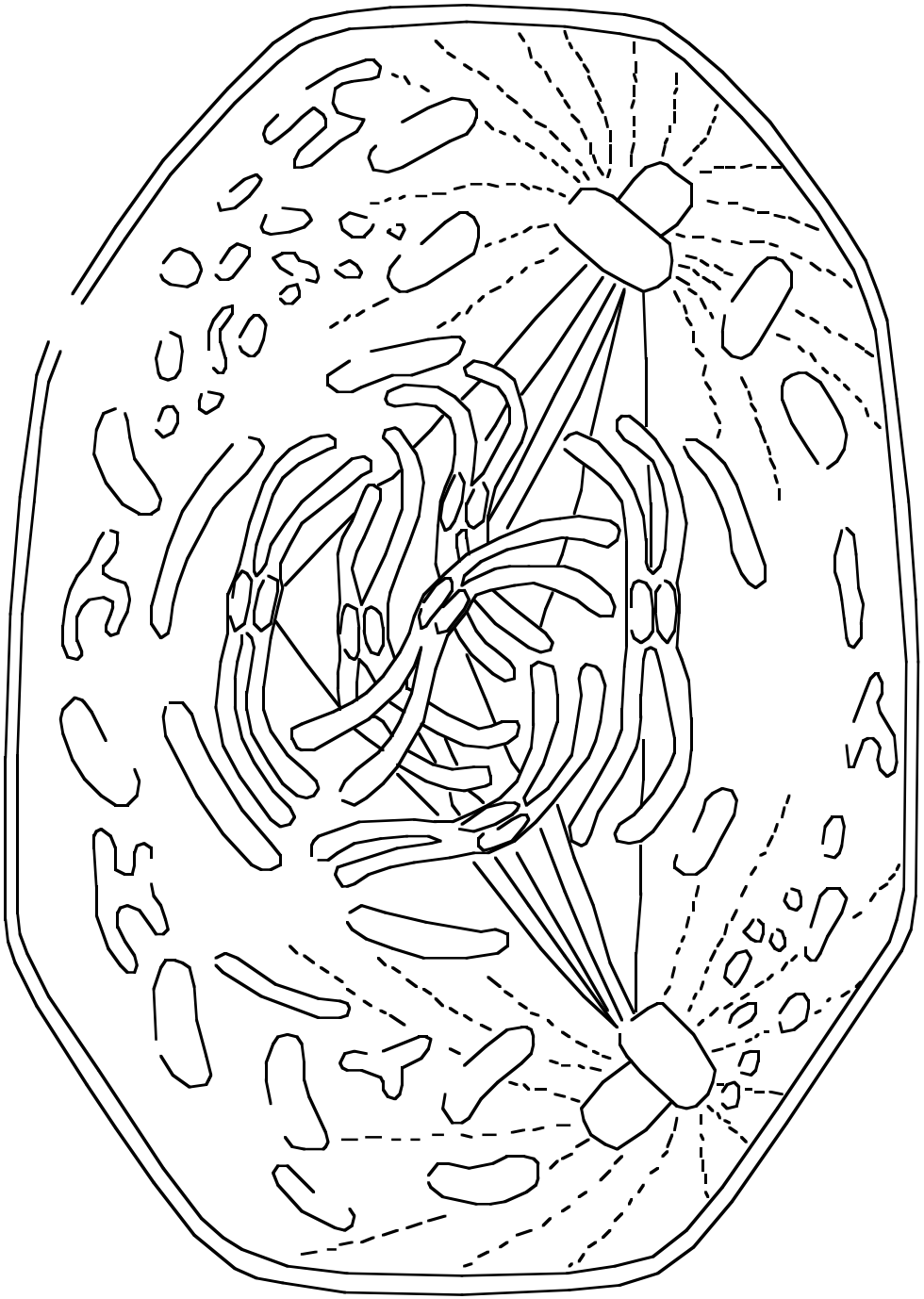
細胞体は、２つの娘核の中間にある分裂溝 (4) のくびれから、均等に二分されます。細胞質分裂の間、２つの娘細胞の間にはしばしば薄い細胞質の橋が見られます。２つの娘細胞が完全に分離すると、細胞質分裂の終了です。

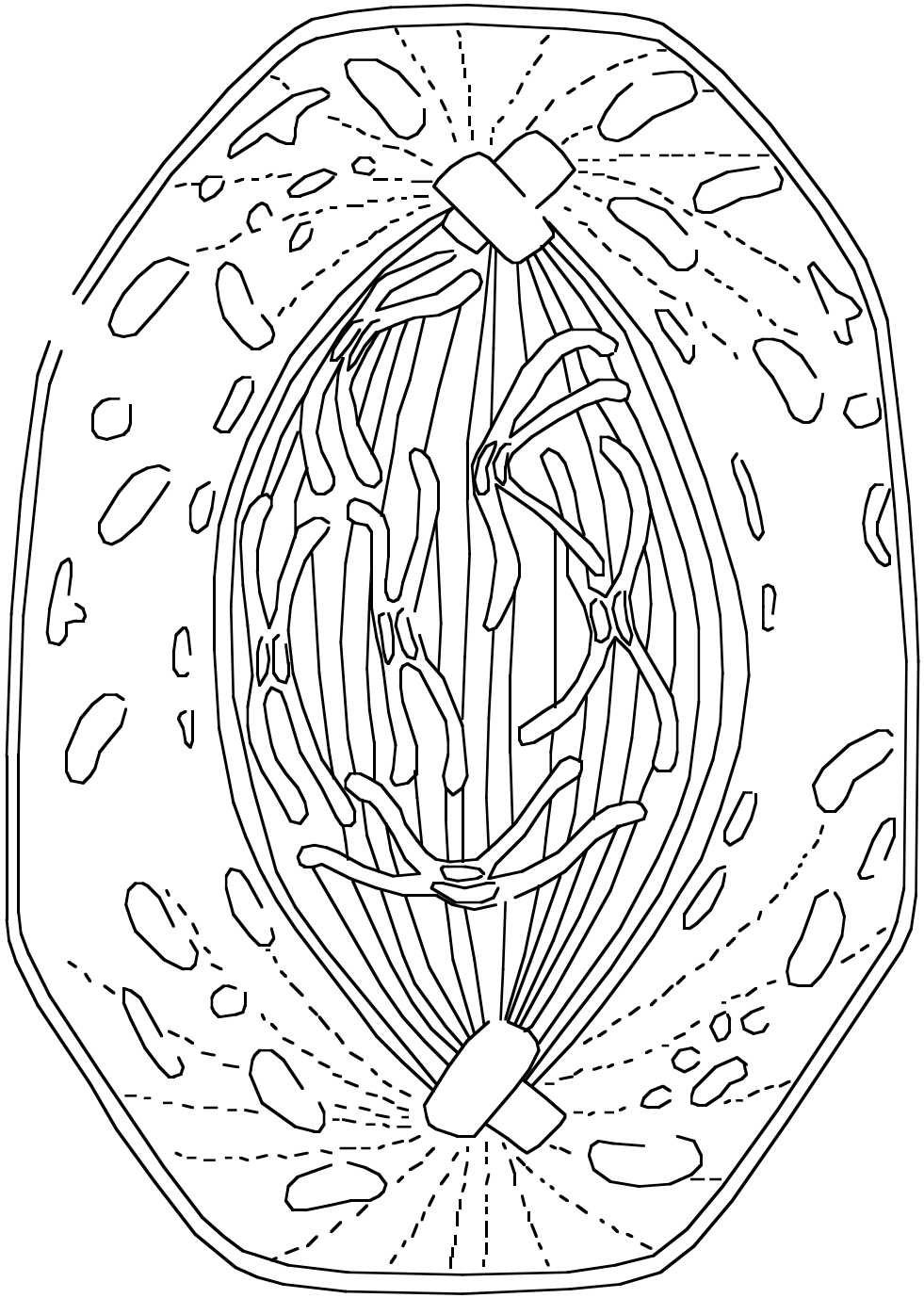
新しくできたばかりの２つの娘細胞はもとの母細胞よりも小さいですが、その後、成長して本来の大きさに達します。分裂完了後、娘細胞は間期を経過して、再び分裂を繰り返します。

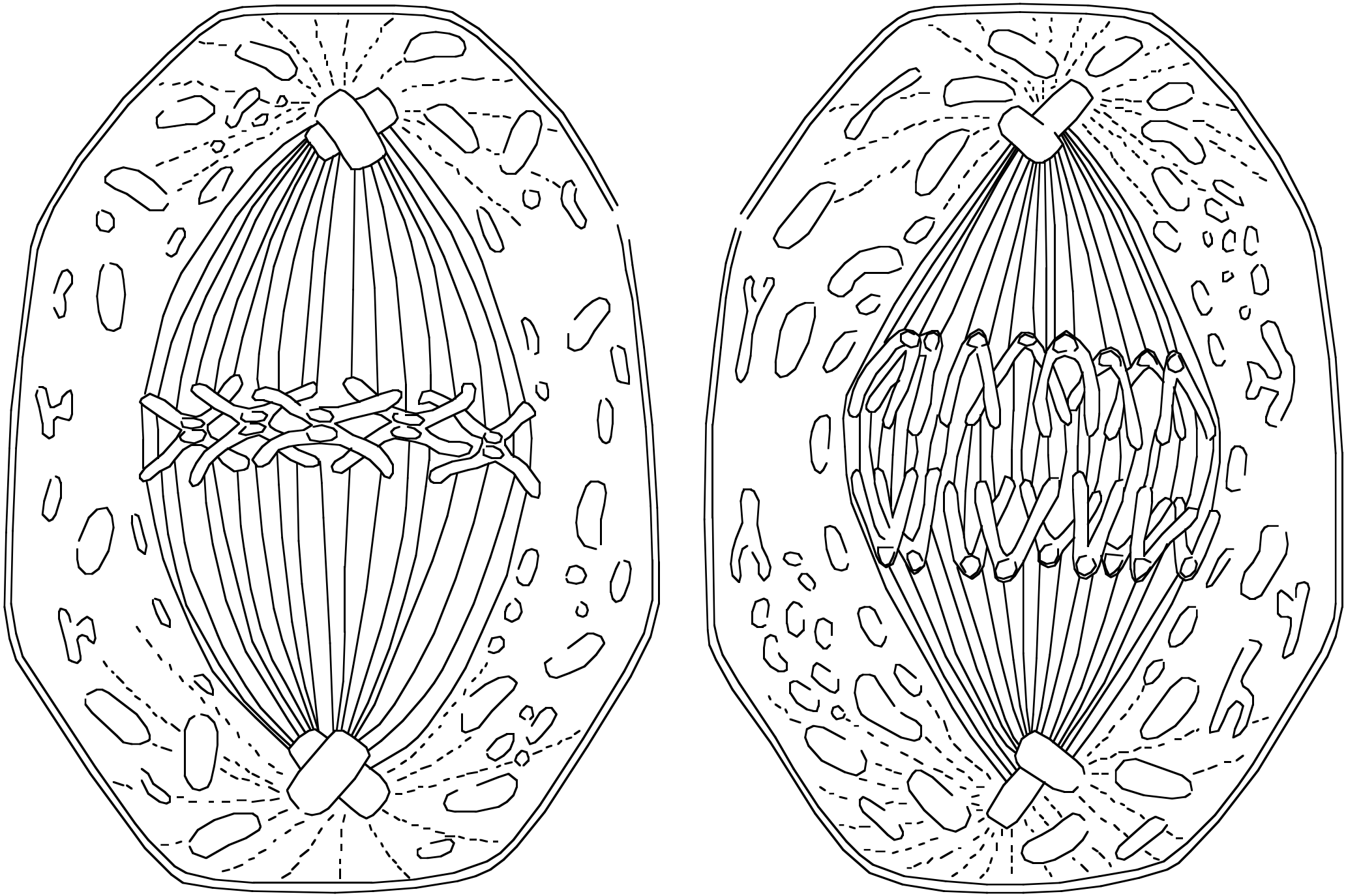


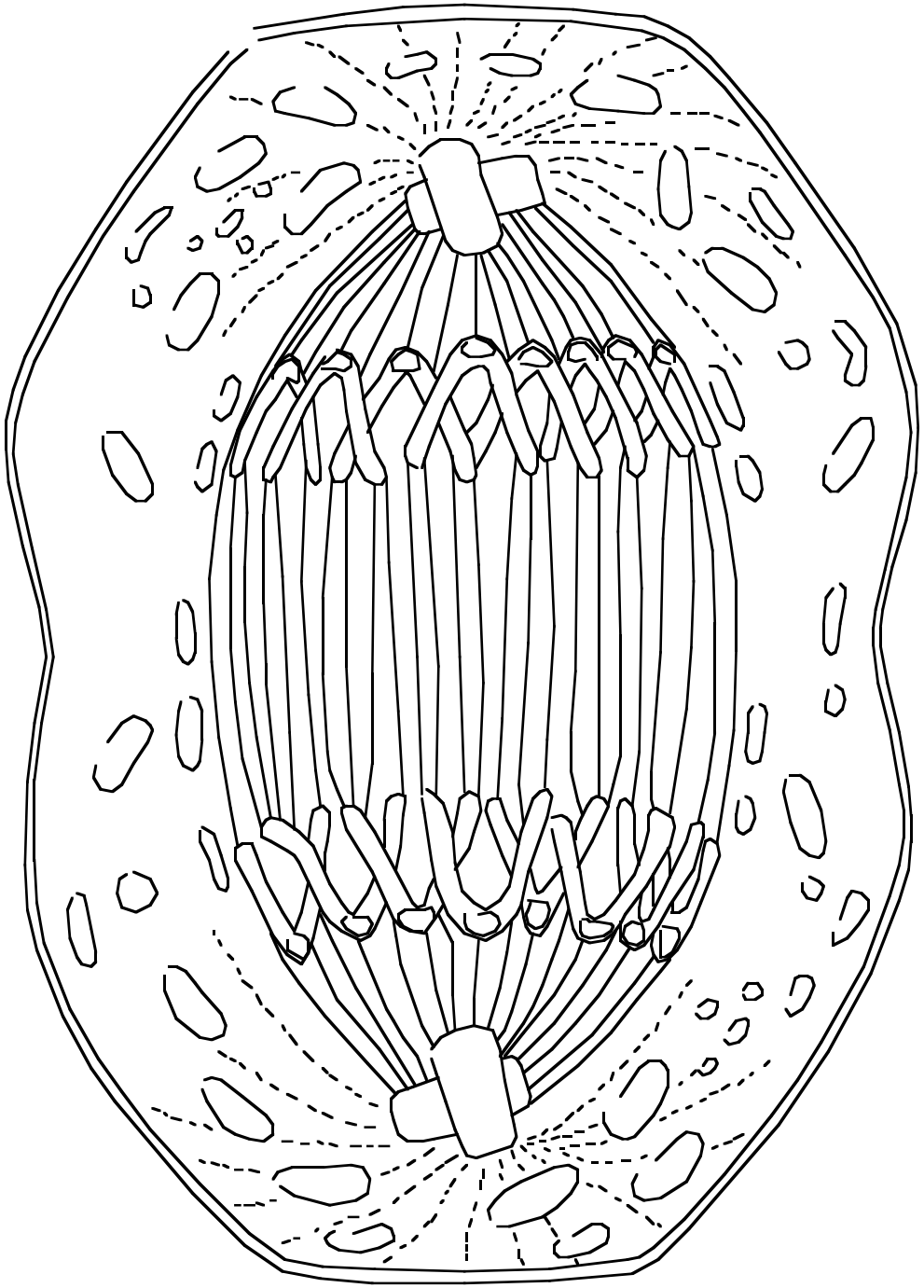


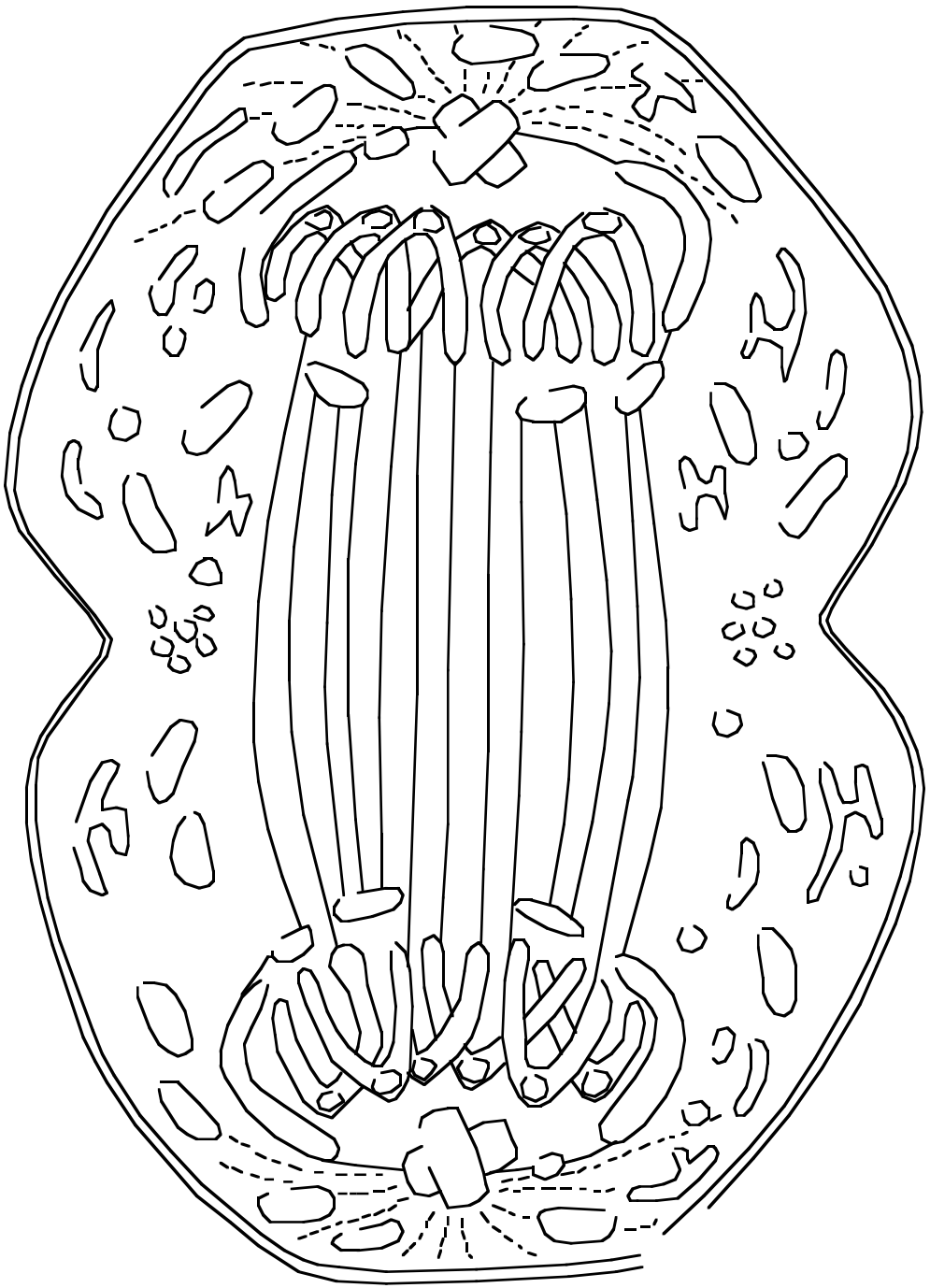












R01, V2049-02/00-1

3B Scientific Products

Internet: http://www.3bscientific.com