

# Cytologie

## 1. Mikroskope und spezielle Techniken eröffnen Einblicke in das Innenleben der Zellen

- 1.1 Das Elektronenmikroskop und neue Methoden der Lichtmikroskopie führten zu grossen Fortschritten bei der Untersuchung der Zellstruktur.
- 1.2 Die Zellbiologen können Organellen isolieren und ihre Funktionen untersuchen. Man homogenisiert die Zellen und fraktioniert sie dann in der Ultrazentrifuge bei schrittweise erhöhter Geschwindigkeit; im Sediment sind jeweils bestimmte Organellen angereichert.

## 2. Die Zelle: Ein Panoramablick

- 2.1 Prokaryotenzellen (Bakterien) besitzen weder einen Zellkern noch membranumhüllte Organellen. Alle anderen Lebewesen sind Eukaryoten; ihre Zellen haben einen membranumhüllten Zellkern, umgeben von Cytoplasma, in das verschiedene, in Prokaryoten nicht vorhandene Organellen eingelagert sind.
- 2.2 Die Notwendigkeit, ein günstiges Verhältnis von Zelloberfläche zu Zellvolumen zu erzielen, setzt der Zellgrösse eine Obergrenze.
- 2.3 Eukaryotenzellen sind von einer Plasmamembran umgeben und durch innere Membranen in verschiedene Kompartimente unterteilt. Diese inneren Membranen schaffen örtlich begrenzte Umfelder für bestimmte Stoffwechselfvorgänge.
- 2.4 Alle Biomembranen bestehen aus Phospholipiden und Proteinen. Die vielfältigen Funktionen der Membranen spiegeln sich in ihrer unterschiedlichen molekulare Zusammensetzung wider.

## 3. Der Zellkern enthält die genetische Information der Zelle

- 3.1 Das charakteristische Kennzeichen aller Eukaryotenzellen ist der abgegrenzte, von einer Kernhülle umschlossene Zellkern. Poren in der Kernhülle erlauben den Austausch von Makromolekülen zwischen Zellkern und Cytoplasma.
- 3.2 Der Zellkern enthält die DNA, das genetische Material; sie ist mit Proteinen in einer für jede Eukaryotenart charakteristischen Zahl von Chromosomen organisiert.
- 3.3 Der Nucleolus ist der Bereich im Zellkern, in dem die Teilstrukturen der Ribosomen hergestellt werden.

## 4. Ribosomen bauen die Proteinmoleküle einer Zelle auf

- 4.1 Die Ribosomen führen die Proteinsynthese entweder in Cytosol aus (freie Ribosomen) oder aber angeheftet an die Aussenseite der Membran des endoplasmatischen Reticulums (membrangebundene Ribosomen).

## 5. Viele Organellen sind über das innere Membransystem verbunden

- 5.1 Viele Membranen einer Eukaryotenzelle stehen untereinander in Verbindung, und zwar entweder durch unmittelbaren physischen Kontakt oder aber indirekt durch Transportvesikel, abgeschnürte Membranbläschen, die von einer Membran zur anderen wandern.

## 6. Das endoplasmatische Reticulum stellt Membranen her und erfüllt auch andere Biosynthesefunktionen

- 6.1 Das endoplasmatische Reticulum (ER) ist ein Geflecht membranumhüllter Kompartimente (ER-Lumen), die sich stellenweise zu Zisternen erweitern. Das glatte ER trägt, wie sein Name schon sagt, keine Ribosomen; es synthetisiert Steroide, setzt Kohlenhydrate um, speichert in Muskelzellen Calcium und beseitigt in Leberzellen Giftstoffe.
- 6.2 Das mit Ribosomen besetzte rauhe ER steht mit der Kernhülle in Verbindung; es stellt Zellmembranen und sekretorische Proteine her. Membranen und gelöste Proteine können mit Transportvesikeln, die sich vom ER abschnüren, an andere Stellen in der Zelle befördert werden.

## 7. Der Golgi-Apparat stellt viele Zellprodukte fertig, sortiert sie und liefert sie an ihren Bestimmungsort

- 7.1. Der Golgi-Apparat besteht aus Stapeln von membranumhüllten Hohlräumen. Er ist ein Umschlagplatz für Makromoleküle; hier werden Produkte des ER abgewandelt, gespeichert, sortiert und exportiert.

## 8. Lysosomen verdauen zelleigenes und zellfremdes Material

- 8.1 Lysosomen sind Membranbläschen, die hydrolytische Enzyme enthalten. Das saure Milieu in ihrem Inneren eignet sich besonders für die Wirkung ihrer Enzyme, die Makromoleküle für die

Wiederverwendung in Monomere zerlegen und die durch Phagozytose aufgenommenen Substanzen verdauen.

## **9. Vakuolen erfüllen im Haushalt der Zelle vielfältige Funktionen**

- 9.1 Die zentrale Zellsaftvakuole der Pflanzenzellen dient dem Zellwachstum und zur Speicherung von Mineralsalzen, sowie von Nähr-, Farb-, Abfall- und Abwehrstoffen. Die Membran dieser Vakuole nennt man Tonoplast.
- 9.2 Weitere Beispiele sind die Nahrungsvakuolen verschiedener tierischer Zellen und die kontraktilen Vakuolen der Süßwasserprotisten.

## **10. Peroxisomen verbrauchen in vielfältigen Stoffwechselfunktionen Sauerstoff**

- 10.1 Peroxisomen („Microbodies“) führen verschiedene durch Oxidasen katalysierte Stoffwechselreaktionen aus, bei denen molekularer Sauerstoff verbraucht wird und Wasserstoffperoxid als Abfallprodukt entsteht. Das Enzym Katalase in den Peroxisomen setzt das Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff um.

## **11. Mitochondrien und Chloroplasten sind die hauptsächlichen Energiewandler der Zellen**

- 11.1 Mitochondrien sind in Eukaryotenzellen die Orte der Zellatmung. Aus chemischen Betriebsstoffen wie Zuckern und Fetten wird Energie freigesetzt und zur Regeneration des ATP-Vorrats in der Zelle verwendet.
- 11.2 Mitochondrien sind durch eine äussere und eine innere, zu Cristae gefaltete Membran in Kompartimente unterteilt. Einige Stoffwechselreaktionen der Zellatmung finden in der von der Innenmembran umschlossenen Matrix statt. Auch Enzyme der Innenmembran wirken bei der Zellatmung mit.
- 11.3 Chloroplasten sind spezialisierte Mitglieder einer Gruppe pflanzlicher Organellen, die man Plastiden nennt; sie enthalten Chlorophyll und andere Pigmente, die bei der Photosynthese mitwirken. Chloroplasten sind von zwei Membranen umschlossen; in ihrem Inneren befindet sich das Stroma, eine Grundsubstanz, in welche die aus Membranen bestehenden Thylakoide (abgeflachte

Membransäckchen) eingelagert sind. In manchen Bereichen sind diese zu Grana aufgestapelt.

## **12. Das Cytoskelett dient als Stützstruktur und wirkt an den Bewegungen der Zelle mit**

- 12.1 Das Cytoskelett besteht aus Mikrotubuli und Mikrofilamenten (Actinfilamenten).
- 12.2 Mikrotubuli sind Hohlzylinder. Sie gehen in vielen Zellen vom Centrosom aus, einem Bereich in der Nähe des Zellkerns, der in Tierzellen die Centriolen enthält. Mikrotubuli geben der Zelle Form und Stütze, lenken die Bewegungen der Organellen und wirken bei der Kernteilung an der Trennung der Chromosomen mit.
- 12.3 Mikrofilamente sind feste Stäbe, die dünner sind als Mikrotubuli und aus dem Protein Actin bestehen. In den Muskelzellen treten Mikrofilamente mit dem Protein Myosin in Wechselwirkung und ermöglichen so die Kontraktion. Ausserdem wirken sie bei der amöboiden Bewegung und der Cytoplasmaströmung mit, und sie stützen Ausstülpungen der Zellen wie beispielsweise die Mikrovilli.

## **13. Pflanzenzellen sind von einer festen Zellwand umschlossen**

- 13.1 Die Zellen der Pflanzen, Pilze und Prokaryoten sind durch Zellwände verstärkt, die ausserhalb der Plasmamembran liegen. Die Zellwände der Pflanzenzellen bestehen aus Cellulosefasern, die in andere Polysaccharide und Proteine eingelagert sind.

## **14. Zellverbindungen verknüpfen die Zellen zu höheren Struktur- und Funktionseinheiten**

- 14.1 Pflanzen besitzen Plasmodesmen, membranumhüllte Cytoplasmakanäle, welche die Zellwände durchdringen und benachbarte Zellen verbinden.
- 14.2 Für den Kontakt zwischen Tierzellen sorgen Verschlusskontakte, Desmosomen und Kommunikationskontakte.

## **14 Die Zelle ist als lebendiges Ganzes mehr als die Summe ihrer Einzelteile**

- 14.1 Organellen arbeiten nicht isoliert, sondern sie wirken mit anderen Organellen zusammen. Auf der Ebene der Zellen erwächst das Leben aus diesen komplexen Wechselwirkungen der Zellbestandteile.

## Mitose und die Vermehrung der Zellen

### 1 Vermehrung, Wachstum und Wundheilung von Organismen erfolgen durch Zellteilung

- 1.1 Für Einzeller ist die Zellteilung das Mittel der Vermehrung. Vielzeller sind auch für Entwicklung, Wachstum und Reparatur auf die Zellteilung angewiesen.

### 2 Bakterien vermehren sich durch Zweiteilung

- 2.1 Prokaryoten machen die Zweiteilung durch, nachdem sich ihr einziges Chromosom verdoppelt hat.

### 3 Das Genom einer Eukaryotenzelle ist auf mehrere Chromosomen verteilt

- 3.1 Die Zellteilung der Eukaryoten besteht aus der Mitose (Teilung des Zellkerns) und der Cytokinese (Teilung des Cytoplasmas).
- 3.2 Da die Gene in Chromosomen zusammengefasst sind, kann die Zelle eine gewaltige Zahl von Genen verdoppeln und verteilen.
- 3.3 Die Chromosomen bestehen aus Chromatin, einem fadenförmigen Komplex aus DNA und Protein, der in der Mitose stärker kondensiert (sich verdickt und sichtbar wird).
- 3.4 Wenn die Chromosomen sich verdoppeln, bilden sie identische Schwesterchromatiden, die vom Centromer zusammengehalten werden. Die Chromatiden trennen sich in der Mitose und werden zu den Chromosomen der Tochterzellen.

### 4 Im Zellzyklus wechseln Mitose und Interphase ab

- 4.1 Mitose und Cytokinese bilden die M-(Mitose-)Phase des Zellzyklus, der in teilungsfähigen Zellen abläuft.
- 4.2. Zwischen den Zellteilungen befinden sich die Zellen in der Interphase, die aus den Phasen G<sub>1</sub>, S und G<sub>2</sub> besteht. Die Zelle wächst während der gesamten Interphase, aber DNA (Erbmaterial) wird nur während der S-(Synthese-)Phase synthetisiert.
- 4.3 Die Mitose ist eine kontinuierliche Abfolge von Veränderungen, die man aber meist in fünf Phasen einteilt: Prophase, Prometaphase, Metaphase, Anaphase und Telophase.

### 5 Die Mitosespindel verteilt die Chromosomen auf die Tochterzellen

- 5.1 Die Mitosespindel ist ein Komplex aus faserartigen Mikrotubuli-Bündeln, der in der Mitose für eine geordnete Bewegung der Chromosomen sorgt. Die Spindel bildet sich in der Prophase von den beiden Centrosomen aus, Bereichen in der Nähe des Zellkerns, die während der Interphase aus einem einzelnen Centrosom entstehen. Bei Tierzellen befinden sich in den Centrosomen je zwei Centriolen.
- 5.2 Zur Spindel gehören Kinetochor-Mikrotubuli, die sich an die Kinetochore der Chromatiden heften.
- 5.3. Die Kinetochor-Mikrotubuli transportieren alle Chromosomen in die Metaphaseplatte (Äquatorialplatte).
- 5.4 In der Anaphase trennen sich die Schwesterchromatiden und wandern zu entgegengesetzten Zellpolen. Dabei bewegt sich das Kinetochor auf noch nicht geklärte Weise an den kürzer werdenden Mikrotubuli entlang. Gleichzeitig verlängert sich der Abstand zwischen den Polen und damit die ganze Zelle durch das aneinander Vorbeigleiten der nicht mit Kinetochoren verbundenen Pol-Mikrotubuli.
- 5.5 In der Telophase bilden sich an den Enden der in Teilung befindlichen Zelle neue Zellkerne.

### 6 In der Cytokinese (Zellbildung) teilt sich das Cytoplasma

- 6.1 Auf die Mitose folgt in den meisten Fällen die Cytokinese: Bei Tierzellen bildet sich die Teilungsfurche aus, bei Pflanzen dagegen die Zellplatte.

## Meiose und sexuelle Entwicklungszyklen

### 1. Die Nachkommen erhalten ihre Gene von den Eltern, indem sie deren Chromosomen erben

- 1.1 Genetik ist die Wissenschaft von der Vererbung. Sie untersucht Konstanz und Variabilität von Merkmalen in der Generationenfolge.
- 1.2 Das genetische Material besteht aus DNA, angeordnet in Genen. Jedes Gen liegt an einem definierten Ort (Locus) auf einem bestimmten Chromosom.

### 2. Gleiches bringt mehr oder weniger Gleiches hervor: Der Unterschied zwischen asexueller und sexueller Fortpflanzung

- 2.1 Bei der asexuellen (ungeschlechtlichen) Fortpflanzung erzeugt ein Elternteil ausschließlich durch Mitosen eine genetisch identische Nachkommenschaft.
- 2.2 Bei der sexuellen (geschlechtlichen) Fortpflanzung werden Gene von zwei verschiedenen geschlechtlichen Eltern rekombiniert, wobei eine genetisch abweichende Nachkommenschaft entsteht.

### 3. Befruchtung und Meiose wechseln im sexuellen Entwicklungszyklus ab

- 3.1 Bei allen sich sexuell fortpflanzenden Organismen wechseln diploide ( $2n$ ) und haploide ( $n$ ) Stadien bei der Befruchtung und der Meiose ab.
- 3.2 Die normalen Somazellen des Menschen enthalten 46 Chromosomen, die Hälfte stammt vom Vater, die andere Hälfte von der Mutter.
- 3.3 Jedes der 22 Autosomen des mütterlichen Satzes hat sein entsprechendes homologes Chromosom im väterlichen Satz. Das dreiundzwanzigste Chromosomenpaar, die Geschlechtschromosomen, bestimmen das Geschlecht als weiblich (XX) oder männlich (XY).
- 3.4 Die einfachen, haploiden ( $n$ ) Chromosomensätze des Eies und des Spermiums vereinigen sich bei der Befruchtung, und es entsteht eine diploide ( $2n$ ) einzellige Zygote. Die Zygote entwickelt sich durch Mitosen zu einem vielzelligen Individuum.
- 3.5 Bei geschlechtsreifen Individuen produzieren die Gonaden, also Ovarien und Hoden, durch den Vorgang der Meiose haploide

Gameten, wobei der diploide zum haploiden Chromosomensatz reduziert wird.

- 3.6 Die verschiedenen sexuellen Entwicklungszyklen sind durch Unterschiede im Zeitpunkt der Meiose und Befruchtung charakterisiert. Vielzellige Organismen können diploid (wie die meisten Tiere) oder haploid sein (zum Beispiel viele Pilze), oder es kommt zum Generationswechsel von haploiden und diploiden Stadien (wie bei vielen Pflanzen).

### 4. In der Meiose wird der diploide Chromosomensatz zum haploiden reduziert

- 4.1 Die Meiose setzt sich aus zwei Zellteilungen zusammen, Meiose I und Meiose II. Es entstehen vier Tochterzellen, von denen jede den halben Chromosomensatz der Ursprungszelle enthält. Die Meiose reduziert also den diploiden Chromosomensatz zum haploiden.
- 4.2 Die Meiose unterscheidet sich von der Mitose durch eine Reihe typischer Ereignisse während der Meiose I.
- 4.3 In der Prophase 1 der Meiose bilden die replizierten homologen Chromosomen, von denen jedes aus zwei Schwesterchromatiden besteht, einen Komplex. Diese Assoziation erlaubt den Austauschgenetischen Materials durch Crossing-over zwischen homologen Segmenten von Nicht-Schwesterchromatiden. Die Crossing-over-Ereignisse werden im Mikroskop als Chiasmata sichtbar.
- 4.4 Die gepaarten Chromosomen ordnen sich in der Metaphaseplatte zu Tetraden an. In der Anaphase I wird jedes homologe Chromosomenpaar getrennt (nicht die beiden Schwesterchromatiden) und zu den beiden Zellpolen hin verteilt. Dies halbiert die Chromosomenzahl in den Tochterzellen.
- 4.5 In der Meiose II werden die Schwesterchromatiden getrennt, und es entstehen vier haploide Tochterzellen - die Gameten.

### 5. Durch den sexuellen Entwicklungszyklus kommt die genetische Variabilität der Nachkommen zustande

- 5.1 Die sexuellen Prozesse, die zur genetischen Variabilität einer Population beitragen, sind die freie Kombination von Chromosomen bei der Meiose I, das Crossing-over zwischen homologen Chromosomen während der Meiose I und die Zufälligkeit der Befruchtung eines Eies durch ein Spermium.

## **6. Evolutionäre Anpassung beruht auf der genetischen Variabilität einer Population**

- 6.1 Die genetische Variabilität unter den Mitgliedern einer Population ist das Rohmaterial für die Evolution durch natürliche Selektion. Sexuelle Rekombination und Mutation sind die beiden Prozesse, die genetische Variabilität erzeugen.