



HUMANEMBRYOLOGIE

Version 2008-2009

Online Embryologiekurs für Studierende der Medizin
Entwickelt von den Universitäten Freiburg, Lausanne und Bern
mit Unterstützung des Schweizerischen Virtuellen Campus.



Kapitel

Contact

EMBRYOGENESE

HOME

AUSTAUSCHZONE

SUCHEN

HILFE

UP ▲

3.0 Lernziele, vorausgesetzter Stoff, Einführung, Problemkreise

- [Lernziele](#)
- [Vorausgesetzter Stoff](#)
- [Einführung](#)
- [Problemkreise](#)

3.1 Die Keimbahn - Ursprung der Keimzellen

- [Einführung](#)
- [Wanderung der Keimzellen](#)
- [Die Genitalleiste](#)
- [Indifferente Gonadenanlage](#)

3.2 Die Determinierung des Geschlechts

- [Einführung](#)
- [Männliche Gonadenanlage](#)
- [Weibliche Gonadenanlage](#)

3.3 Spermatogenese

- [Einleitung](#)
- [Aufbau des Keimepithels](#)
- [Entwicklungsstadien der Spermatogenese](#)
- [Zeitlicher Ablauf der Spermatogenese](#)
- [Die Spermatozytogenese](#)
- [Örtlicher Ablauf der Spermatogenese - Die Spermatogenesewelle](#)
- [Spermio\(histo\)genese und Bau des Spermiums](#)
- [Leydig'sche Zwischenzellen und hormonelle Regulation](#)

3.4 Oogenese

- Anmerkung
- Entwicklung der Keimzellen im Ovar
- Aufbau des Ovars
- Die Follikelstadien vom Primordialfollikel zum Tertiärfollikel
 - Primordialfollikel
 - Primärfollikel
 - Sekundärfollikel
 - Tertiärfollikel
 - Graafscher Follikel
- Zeitlicher Verlauf der Keimzellenzahl / Follikelzahl
 - Die Atresie -- das übliche Schicksal eines Follikels
- Der Ovarialzyklus
 - Der hormonelle Zyklus

3.5 Vergleich Spermatogenese - Oogenese

- Tabellarische Gegenüberstellung der Spermatogenese und der Oogenese

3.6 Quiz

- Testen Sie Ihr Wissen

3.7 Kurz gefasst

- Zusammenfassung

3.8 Referenzen

- Referenzen



3.0 Lernziele, vorausgesetzter Stoff, Einführung, Problemkreise

- Lernziele
- Vorausgesetzter Stoff
- Einführung
- Problemkreise

Lernziele

In diesem Modul werden folgende Kenntnisse vermittelt:

- Ursprung und Wanderung der Keimzellen-Keimbahn
- Anlage der männlichen Gonaden
- Anlage der weiblichen Gonaden
- Spermatogenese
- Oogenese

Vorausgesetzter Stoff

- Allgemeine Zytologie
- Mitose
- Meiose

Einführung

Reife Keimzellen werden auch Gameten genannt. Es gibt **männliche Gameten, Spermatozoen (Spermien)** und **weibliche Gameten, die Oozyten (Eizellen)**. Durch Verschmelzung der Gameten bei der Befruchtung entsteht die Zygote, die erste Zelle eines neuen Individuums. Damit auch in ihr die normale Anzahl von 46 Chromosomen vorhanden ist, befindet sich in jeder der Gameten jeweils nur die halbe Anzahl, also 23 Chromosomen. Die **Reduktion der Anzahl Chromosomen und die Rekombination der Erbinformation** sind Vorgänge, die beide in der Meiose stattfinden. Dies ist eine spezielle Form der Zellteilung, die **nur in der Gametogenese** vorkommt.

Die Gametogenese beschreibt im wesentlichen, wie während der geschlechtsreifen Zeit des Menschen die Oozyten im Ovar und die Spermien im Hoden entstehen.

Kommentar

Gameten sind haploid

Das Spermium determiniert das Geschlecht des neuen Individuums

Die **männlichen Gameten** werden in den Hoden ab der Pubertät kontinuierlich und lebenslang in grosser Zahl produziert. In einem Ejakulat finden sich mehrere **Millionen** Spermien.

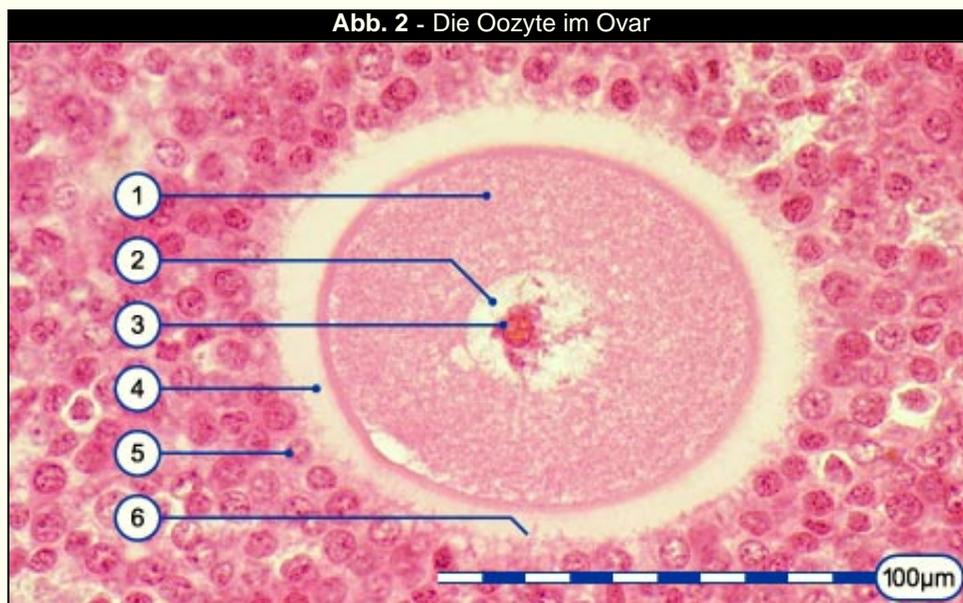


- 1 Kopf eines Spermiums
- 2 Schwanz eines Spermiums
- 3 Epithel des Nebenhodenganges

Legende

Abb. 1
Im diesen Bild befindet sich eine grosse Anzahl Spermien auf ihrer Passage durch den Nebenhodengang (Ductus epididymis = Spermienreservoir)

Die **weiblichen Gameten** hingegen, die Oozyten, werden bereits in der Embryonal- und Fetalperiode angelegt und sind schon bei der Geburt eines Mädchens in einer bestimmten Anzahl (1-2 Mio.) in beiden **Ovarien** vorhanden. Die Zahl der Eizellen reduziert sich kontinuierlich bis zur Menopause. In der fruchtbaren Zeit im Leben einer Frau, von der Menarche bis zur Menopause, können etwa **400 Eizellen** (ca. 13 Zyklen x 30 Jahre) zum Eisprung gelangen. Verantwortlich dafür ist eine zyklisch verlaufende hormonelle Steuerung der Eireifung.



Legende

Abb. 2
Das Bild zeigt eine Oozyte (Durchmesser ca. 0.1mm) aus einem menschlichen Tertiärfollikel.

- 1 Zytoplasma der Eizelle (Ooplasma)
- 2 Zellkern
- 3 Nukleolus
- 4 Zona pellucida
- 5 Zelle der Corona radiata
- 6 Zytoplasmaausläufer einer Corona radiata Zelle

Kommentar

An diesen beiden Abbildungen wird der enorme Grössenunterschied zwischen menschlicher Ei- und Samenzelle deutlich: Im Nucleolus der Eizelle fänden zahlreiche Spermienköpfe Platz. Die Oozyte ist von einer dicken Glykoproteinschicht (Zona pellucida) umgeben, in der Zytoplasma-Ausläufer der Corona radiata Zellen stecken, über welche die Ernährung der Eizelle erfolgt.

Reife Keimzellen und ihre direkten Vorläufer sind spezielle Zellen. Sie entstammen den **Urkeimzellen**, die zuerst in das extraembryonale Nabelbläschen auswandern (Stadium 11, ◀11▶) und erst nach einer gewissen Zeit zurückkehren (Stadium 14, ◀14▶) und sich entwickeln.

Diese Urkeimzellen lassen sich schon in der zweiten Woche eines Embryos nachweisen, zu einem Zeitpunkt, in dem das Geschlecht des Embryos zwar chromosomal feststeht, die entsprechenden Anlagen des jeweiligen Geschlechts allerdings noch nicht vorhanden sind.

Nach einer ausgedehnten **Wanderung** erreichen die Urkeimzellen in der sechsten Woche die vorerst primitive und geschlechtlich indifferente Gonadenanlage (Genitalleiste). Erst durch dieses Einwandern der Urkeimzellen kann sich die Gonadenanlage weiter und später geschlechtsspezifisch entwickeln.

Die Keimbahn:

Die von den übrigen Körperzellen getrennt verlaufende Entwicklung und Wanderung der (Ur-)Keimzellen.

Problemkreise

- Warum müssen die Gameten haploid sein?
- Wie wird die Haploidie erreicht?
- Wann werden Gameten produziert?
- Wie lassen sich die enormen Grössenunterschiede zwischen weiblichen und männlichen Gameten erklären?
- Worin liegt die Bedeutung der Keimbahn?

Schlüsselbegriffe

Begriffe, die im Modul Gametogenese von Bedeutung sind.

Liste der Kapitel | **Nächstes Kapitel**



3.1 Die Keimbahn - Ursprung der Keimzellen

- Einführung
- Wanderung der Keimzellen
- Die Genitalleiste
- Indifferente Gonadenanlage

◀ SEITE ▶

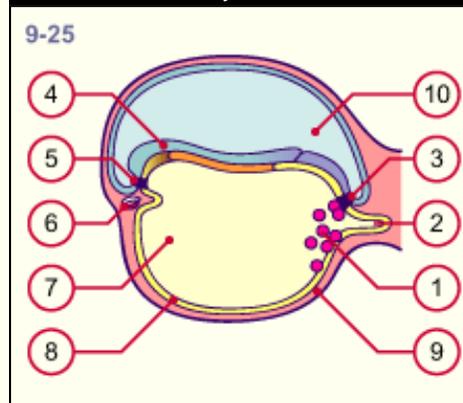
Einführung

Der gemeinsame Ursprung von Spermien und Eizellen und damit der Beginn der Keimbahn stellen die **Urkeimzellen** dar. Diese sind, wie die anderen Körperzellen auch, diploid und lassen sich bereits in der zweiten Woche beim menschlichen Embryo **im primären Ektoderm** (Epiblast) nachweisen.

Wanderung der Keimzellen

Vom primären Ektoderm wandern die Urkeimzellen in der **dritten Woche** amöboid in die Wand des Dottersacks ein und sammeln sich nahe des Abgangs der Allantois an. Die Urkeimzellen sind nun **extraembryonal** im Endoderm und Mesoderm der Dottersackwand gelegen.

Abb. 3 - Embryo in der 4 Woche



- 1 Urkeimzellen
- 2 Allantois
- 3 Enddarm
- 4 Ektoderm
- 5 Vorderdarm
- 6 Herzanlage
- 7 sekundärer Dottersack
- 8 Endoderm (gelb)
- 9 Mesoderm (rot)
- 10 Amnionhöhle

Legende

Abb. 3
Die aus dem Ektoderm ausgewanderten Urkeimzellen sitzen zwischen den Endodermzellen in der Wand des sekundären Dottersacks.

Quiz

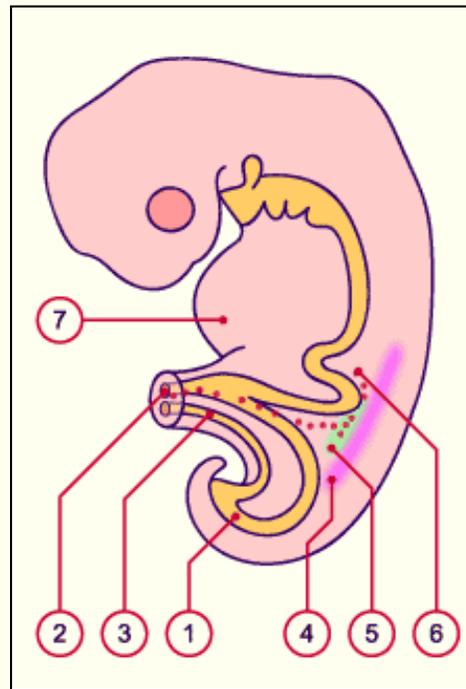
Quiz 03

Durch die kraniokaudale Krümmung und die laterale Abfaltung des Embryos begünstigt, **wandern die Urkeimzellen** zwischen der vierten und sechsten Woche wieder zurück in den Embryo. Sie bewegen sich entlang der Dottersackwand zum Dottergang und in

Abb. 4 - Embryo in der 5. Woche

Legende

die Wand des Enddarms. Nach der Durchquerung des dorsalen Mesenteriums treffen sie in der Genitaleiste ein. Während ihrer Wanderung, aber auch noch in der Genitaleiste, vermehren sich die Urkeimzellen durch mitotische Teilungen. Abbildung 4 zeigt diese Wanderung in der Übersicht. Eine detailliertere Ansicht bietet auf der nächsten Seite die Abbildung 5.



- 1 Enddarm
- 2 Dottergang
- 3 Allantois
- 4 Urnierenleiste (rosa)
- 5 Genitaleiste (grün)
- 6 Urkeimzellen
- 7 Herzvorwölbung

Abb. 4
Aus der Wand des Dottersacks wandern die Urkeimzellen entlang des Dottergangs und des dorsalen Mesenteriums in die Genitaleiste ein. Diese erreichen sie in der 6. Woche.

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)



3.1 Die Keimbahn - Ursprung der Keimzellen

- Einführung
- Wanderung der Keimzellen
- **Die Genitalleiste**
- **Indifferente Gonadenanlage**

◀ SEITE ▶

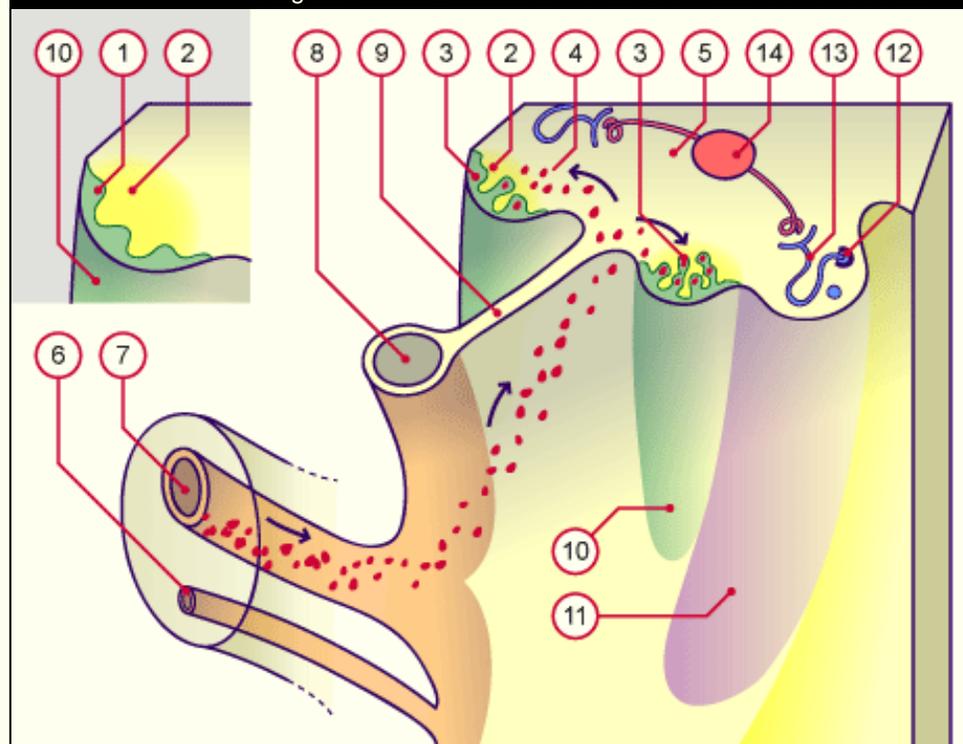
Die Genitalleiste

Die Gonaden entstehen bei beiden Geschlechtern in der **Genitalleiste** (kleines Bild in Abbildung 5). Dies ist eine leistenartige Vorwölbung, die ventromedial der Urnierenleiste in Erscheinung tritt. Sie entsteht in der 5. Woche durch die **Proliferation des Zölomepithels** und die **Verdichtung des darunterliegenden Mesenchyms**. Die Genitalleiste stellt zu diesem Zeitpunkt die primitive Gonadenanlage dar. Damit sich aus ihr die definitiven und geschlechtsspezifischen Gonaden entwickeln können, bedarf es der **Einwanderung der Urkeimzellen**.

Quiz

Quiz 05

Abb. 5 - Einwanderung der Urkeimzellen in die Genitalleisten in der 5. -6. Woche



- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1 Proliferierendes Zölomepithel | 8 Darmrohr |
| 2 Verdichtung des Mesenchyms | 9 Dorsales Mesenterium |
| 3 Keimstränge | 10 Genitalleiste |
| 4 Urkeimzellen | 11 Urnierenleiste |
| 5 Mesenchym | 12 Urnierengang (Wolff-Gang) |
| 6 Allantois | 13 Urnierenkanälchen |
| 7 Dottergang | 14 Aorta |

Legende

Abb. 5
Kleines Bild:
Anlage der
Genitalleiste um die
5. Woche

Grosses Bild:
Ausbildung der
**indifferenten
Gonadenanlage** in
der 6. Woche mit
Einwanderung der
Urkeimzellen

Indifferente Gonadenanlage

In der 6. Woche kommen die in der 5. Woche losgewanderten Urkeimzellen in den beiden Genitalleisten an. Die **Urkeimzellen** werden **von** den in die Tiefe des Mesenchyms vorgedrungenen **Zölomepithelzellen umschlossen**. Es bilden sich die **Keimstränge**, welche immer noch mit der Oberfläche des Zölomepithels verbunden sind. Zu diesem Zeitpunkt kann noch nicht zwischen einer männlichen oder weiblichen Gonadenanlage unterschieden werden, deshalb nennt man diesen Zustand auch die **indifferente Gonadenanlage**.

Kommentar

Die Gonade (= Genitalleiste + Urkeimzellen) wölbt sich als langgestreckter Körper in die Leibeshöhle vor. Ihr kranialer und kaudaler Teil bildet sich später zu Keimdrüsenligamenten zurück, der verbleibende Rest jedoch wuchert weiter und übertrifft bald die Urniere an Grösse.

[Anfang des Kapitels](#) | [Nächstes Kapitel](#)



3.2 Die Determinierung des Geschlechts

- Einführung
- Männliche Gonadenanlage
- Weibliche Gonadenanlage

Einführung

Der Schlüssel zur **Sexualdifferenzierung** liegt auf dem **Y Chromosom** in der SRY (Sex determining region of the Y chromosome), welches die männliche Entwicklung induziert. Die Expression des Gens SRY stimmt mit dem Zeitpunkt der Geschlechtsdeterminierung überein, denn es wird in den somatischen Zellen der männlichen Genitalleiste exprimiert. Unter anderem wird im Hoden Testosteron ab der 7. Woche gebildet. Ist kein Y-Chromosom und somit kein SRY vorhanden, kommt es zur Ausbildung eines weiblichen Phänotyps.

Männliche Gonadenanlage

Unter dem Einfluss von SRY und weiterer Gene proliferieren die **Keimstränge**, wachsen in die Tiefe und werden zu **Hodensträngen** (Chordae testiculares). Im weiteren Verlauf der Entwicklung verlieren die Hodenstränge die Verbindung zum oberflächlichen Epithel und gelangen in die Tiefe des Hodens.

Bis zur **Pubertät** bleiben die Hodenstränge kompakt, erst dann erhalten sie ein Lumen, und die Urkeimzellen werden zu **Spermatogonien**.

Kommentar

Die Spermatogonien sind die Urkeimzellen, aus denen nach mehreren mitotischen und einem meiotischen Teilungsschritt schliesslich die Spermien entstehen.

Abb. 6 - Genitalleiste wird zum Hoden
7. Woche

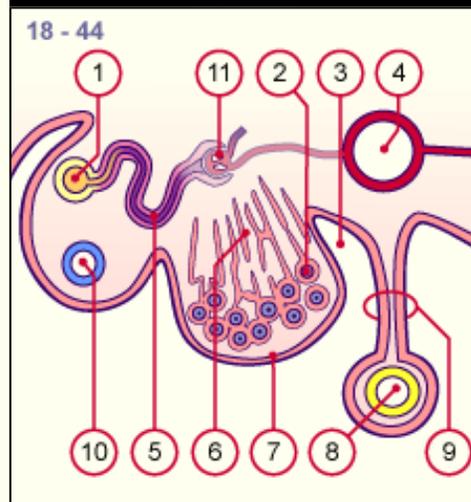
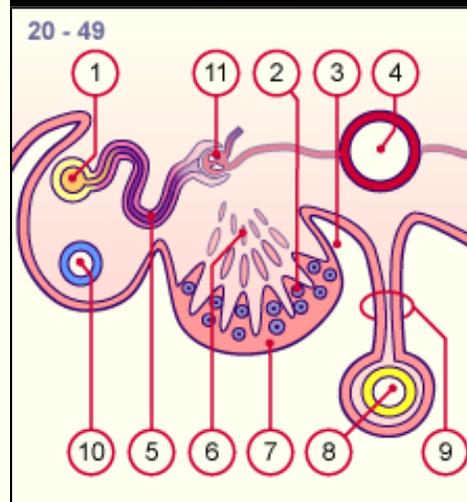


Abb. 7 - Genitalleiste wird zum Ovar
8. Woche



Legende

Abb. 6
Entwicklung beim Mann: die Hodenstränge dringen tief ins Mark der Gonadenanlage ein (daher der Name Markstränge) und verlieren den Kontakt zum Oberflächenepithel.

Abb. 7
Entwicklung bei der Frau: die Keimstränge degenerieren im Bereich des Markes. Durch fortwährende Proliferation des Zölomepithels bleiben

- 1 Ductus mesonephricus (Wolff)
- 2 PGC
- 3 Peritonealhöhle
- 4 Aorta
- 5 Tubulus mesonephricus
- 6 Gonadenstränge
- 7 Zölomepithel
- 8 Darm
- 9 Mesenterium
- 10 Anlage des Ductus paramesonephricus (Müller)
- 11 Rückbildung der Mesonephros-Nephron

- 1 Ductus mesonephricus (Wolff)
- 2 PGC
- 3 Peritonealhöhle
- 4 Aorta
- 5 Tubulus mesonephricus
- 6 degenerierte Gonadenstränge
- 7 verdicktes Zölomepithel
- 8 Darm
- 9 Mesenterium
- 10 Anlage des Ductus paramesonephricus (Müller)
- 11 Rückbildung der Mesonephros-Nephron

diejenigen Keimstränge bestehen, die den Kontakt zum Zölomepithel nicht verloren haben.

Weibliche Gonadenanlage

Die Keimstränge im Bereich des Markes degenerieren, da im weiblichen Körper kein SRY existiert. In der Rindenregion bleibt hingegen die Proliferation des Zölomepithels erhalten, und umgeben die sich vermehrenden Keimzellen. Diese bleiben aber in der Nähe der Oberfläche und werden im Unterschied zu den primären Keimsträngen **Rindenstränge** genannt.

Im 4. Monat zerfallen die Rindenstränge in einzelne Zellhaufen und die Epithelzellen umgeben eine bis zwei Urkeimzellen. Die Urkeimzellen differenzieren sich in Oogonien und beginnen mit der ersten Reifeteilung als primäre Oozyte, während aus den Epithelzellen die Follikelzellen entstehen. Die dann einsetzende Interaktion mit den sie umgebenden Follikelzellen stoppt die Vollendung der ersten Reifeteilung bis zum Einsetzen der Pubertät.

Beim weiblichen Organismus differenzieren sich die Urkeimzellen schon während der Fetalzeit zu **Oogonien**.

Zusammenfassung

Das Geschlecht eines Embryos wird zum Zeitpunkt der Befruchtung determiniert und hängt davon ab, ob die Spermatozyte ein X- oder ein Y-Chromosom trägt. In XX-Embryonen wachsen die Keimstränge nicht bis ins Mark. Die Rindenstränge umgeben die Oogonien. In XY-Embryonen werden aus den Marksträngen die Hodenstränge (Chordae testiculares), welche auch in die Tiefe wachsen und mit dem Mesonephros Kontakt aufnehmen.

[Liste der Kapitel](#) | **[Nächstes Kapitel](#)**



3.3 Spermatogenese

- **Einleitung**
- Aufbau des Keimepithels
- Entwicklungsstadien der Spermatogenese
- Zeitlicher Ablauf der Spermatogenese
- Die Spermatozytogenese
- Örtlicher Ablauf der Spermatogenese - Die Spermatogenesewelle
- Spermio(histo)genese und Bau des Spermiums
- Leydig'sche Zwischenzellen und hormonelle Regulation

Einleitung

Mit dem Eintritt in die Pubertät setzt im Hoden des Mannes die Spermatogenese ein. Diese umfasst die gesamte **Entwicklung von der Spermatogonie (ehemalige Urkeimzellen) bis zum Spermium**. Die bis dahin soliden Keimstränge im kindlichen Hoden erhalten zu Beginn der Pubertät ein Lumen. Sie wandeln sich damit in Samenkanälchen um, die eine Länge von ca. 50-60cm erlangen. Sie werden als **Tubuli seminiferi contorti** bezeichnet, die so zahlreich sind, dass ihre Gesamtlänge beim erwachsenen Mann 300 bis 350m erreicht. Sie werden von einem Keimepithel ausgekleidet das zwei verschiedene Zellpopulationen aufweist: Einmal Stützzellen (= **Sertolizellen**) und zum überwiegenden Teil die **verschiedenen Stadien der sich teilenden und differenzierenden Keimzellen**.

Quiz

[Quiz 09](#)

Quiz

[Quiz 10](#)

Abb. 8 - Tubuli seminiferi contorti

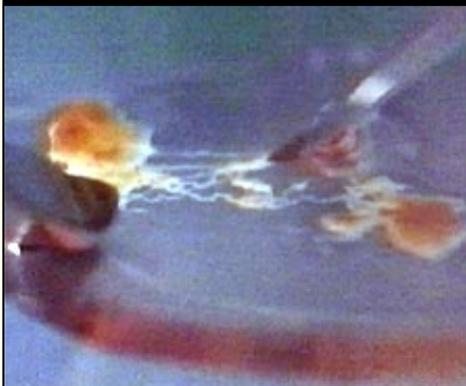


Abb. 9 - Tubuli seminiferi contorti



Legende

Bei gewissen Formen von Impotenz wird der Hoden für eine assistierte Befruchtung biopsiert. Aus einem Stück Hodenparenchym werden die Tubuli seminiferi contorti mit der Pinzette herausgezupft und entknäuel.

Abb. 8
Hodenbiopsie: Durch Zupfen mit der Pinzette werden die Hodenkanälchen sichtbar.

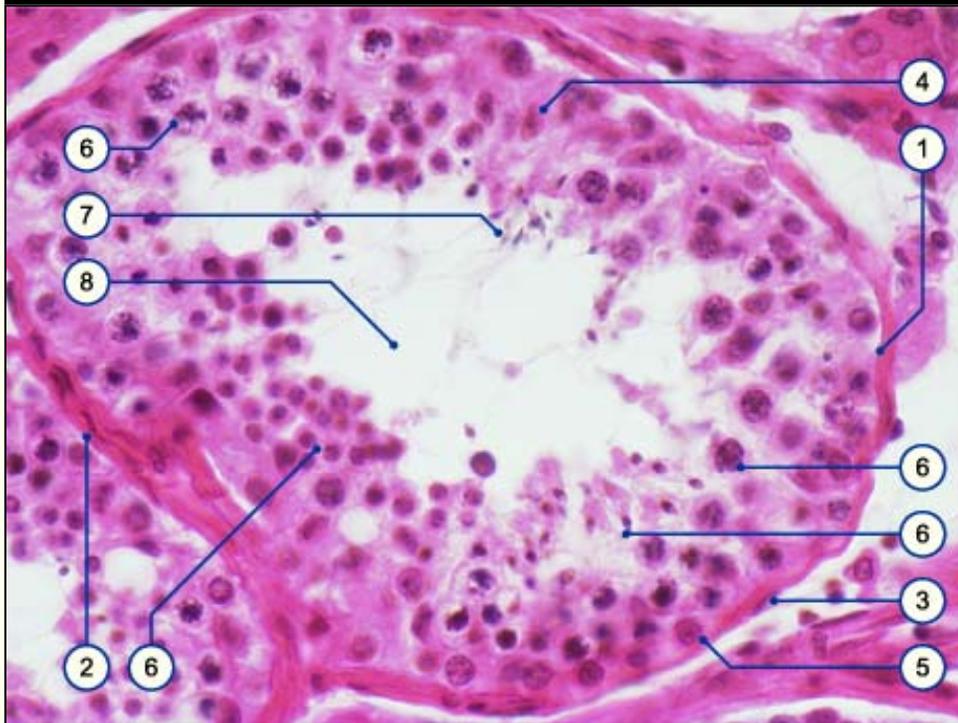
Abb. 9
Unter der Binokularlupe sind die Tubuli deutlich sichtbar.

([Video](#), 390KB)

Kommentar

Offenbar braucht es für eine optimale Spermienproduktion ein bestimmtes Milieu. So ist durch die Verlagerung des Hodens ins Skrotum die Hodentemperatur 2-3°C niedriger als die Körpertemperatur. Im Weiteren ist ein leicht erhöhter Umgebungsdruck notwendig. Deshalb quillt beim Anritzen der straffen Tunica albuginea das Hodenparenchym von selbst heraus. Erhöhter Druck und niedrige Temperatur sind offenbar beide nötig für die Spermienbildung.

Abb. 10 - Tubulus seminiferus contortus



- 1 Basalmembran (nicht erkennbar)
- 2 Myofibroblast
- 3 Fibrozyt
- 4 Sertolizelle
- 5 Spermatogonie A
- 6 verschiedene Stadien der Keimzellen während der Spermatogenese
- 7 Spermium
- 8 Lumen

Legende

Abb. 10
Histologisches Präparat eines Querschnitts durch einen Tubulus seminiferus contortus beim Erwachsenen. Der Tubulus wird ausserhalb seiner Basalmembran von einer Schicht Myofibroblasten und Fibrozyten umgeben. An der Tubuluswand liegt das Keimepithel. Der Basalmembran aufsitzend erkennt man die Spermatogonien. Die Kerne der Sertoli-Stützzellen sind seltener, Man erkennt sie an den chromatinarmen, oft eingekerbten Kernen mit deutlichem Nucleolus. Das Gesamtbild wird von den Zellen der Spermatogenese dominiert.

Die Entwicklung der Keimzellen beginnt mit den **Spermatogonien** aussen an der Basalmembran des Samenkanälchens und schreitet lumenwärts über **Spermatozyten I** (primäre Spermatozyten) und Spermatozyten II (sekundäre Spermatozyten) und **Spermatiden** bis zu den **reifen Spermien** fort.

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)

- 1 Peritubuläre Zellen
 - 2 Basalmembran
 - 3 Spermatogonien
 - 4 Tight junction
 - 5 Spermatozyt I
 - 6 Spermatozyt II
 - 7a Spermatiden
 - 7b Spermatiden
 - 8 Akrosom
 - 9 Residualkörper
 - 10 Spermien
 - 11 Zellkern der Stützzellen (Sertoli)
- A** Basale Zone
B Adluminale Zone
-

Kommentar

Durch die Schlussleistenkomplexe der Sertolizellen kommt im Tubulus eine "Blut-Hoden-Schranke" zustande. Dies bedeutet, dass ausserhalb dieser Schranke in der Tubulusperipherie, Stoffe und Hormone aus dem Blut ungehinderten Zugang haben. Die Schranke ist selektiv permeabel und übt für Stoffe eine Zugangs-kontrolle in die Innenzone des Tubulus aus. Dies ist von Bedeutung, weil **haploide Zellen antigene Eigenschaften aufweisen** und deshalb durch die "Blut-Hoden-Schranke" vom übrigen Organismus separiert werden müssen.

Mehr dazu

Mehr zu den [Funktionen](#) die die Sertolizelle im Keimepithel erfüllt.

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)



3.3 Spermatogenese

- [Einleitung](#)
- [Aufbau des Keimepithels](#)
- [Entwicklungsstadien der Spermatogenese](#)
- [Zeitlicher Ablauf der Spermatogenese](#)
- [Die Spermatozytogenese](#)
- [Örtlicher Ablauf der Spermatogenese - Die Spermatogenesewelle](#)
- [Spermio\(histo\)genese und Bau des Spermiums](#)
- [Leydig'sche Zwischenzellen und hormonelle Regulation](#)

Entwicklungsstadien der Spermatogenese

Im Laufe der Spermatogenese **verschieben sich die Keimzellen** mit zunehmender Ausreifung lumenwärts. Folgende Entwicklungsstadien werden dabei durchlaufen:

- A-Spermatogonie
- B-Spermatogonie
- Primäre Spermatozyte (= Spermatozyte I. Ordnung)
- Sekundäre Spermatozyte (= Spermatozyte II. Ordnung)
- Spermotide
- Spermium (= Spermatozoon)

Die Spermatogenese lässt sich in **zwei aufeinanderfolgende Abschnitte** unterteilen: Der erste Abschnitt umfasst die Zellen von der Spermatogonie bis und mit zur sekundären Spermatozyte und wird **als Spermatozytogenese** bezeichnet.

Der zweite Abschnitt umfasst die **Differenzierung/Reifung** des Spermiums ausgehend von der Spermotide und wird als **Spermio-genese** resp. **Spermiohistogenese** bezeichnet.

Zeitlicher Ablauf der Spermatogenese

Quiz

[Quiz 12](#)

Quiz

[Quiz 13](#)

Quiz

[Quiz 14](#)

MODUL 3

KAPITEL

LERNZIELE

QUIZ

KURZ GEFASST

REFERENZEN

◀ SEITE ▶

EMBRYOGENESE

ORGANOGENESE

HOME

AUSTAUSCHZONE

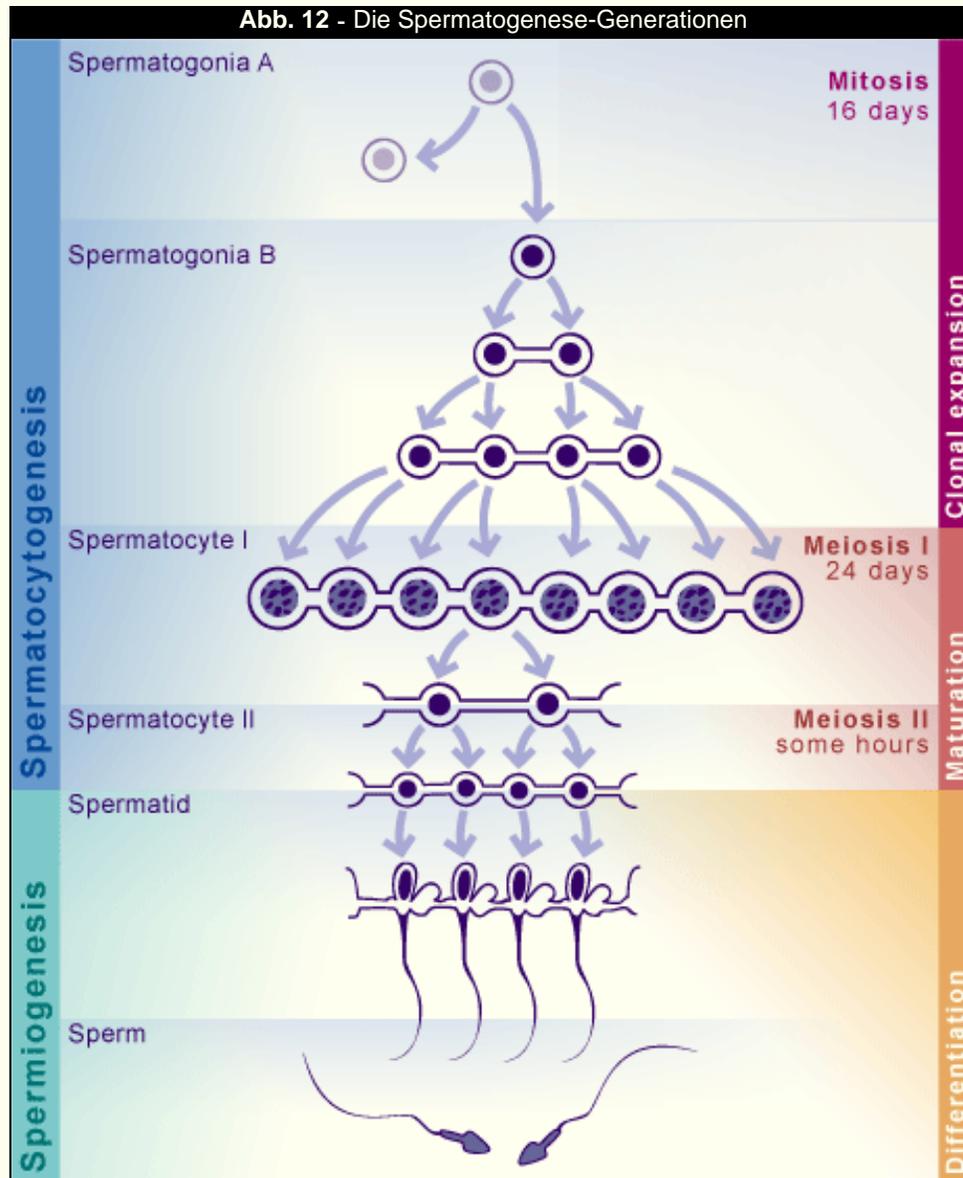
SUCHEN

HILFE

UP ▲

Der rund **64 Tage** dauernde Zyklus der Spermatogenese lässt sich in vier Phasen unterteilen, die unterschiedlich lang dauern:

Mitose der Spermato gonien	16d	bis zu den primären Spermatozyten
Erste Reifeteilung	24d	für die Teilung der primären Spermatozyten zu sekundären Spermatozyten
Zweite Reifeteilung	wenige Stunden	für die Entstehung der Spermatiden
Spermiogenese	24d	bis zum fertigen Spermium
Total	~64d	



Legende

Abb. 12

Der Basalmembran der Tubuli seminiferi contorti liegt die Stammzellpopulation der Keimzellen auf. Sie werden als Spermato gonien Typ A bezeichnet. Diese Zellen machen eine Mitose durch. Eine Tochterzelle erneuert den Bestand an Spermato gonien, die andere wird zum Typ B Spermato gonion. Dabei differenzieren sie sich in etwa 64 Tagen bis zur Oberfläche des Epithels zu Spermien. (Man beachte, dass bei den genannten Zellteilungen die Zytoplasma Trennung nicht ganz vollzogen wird. Es entstehen ganze Netze zusammenhängender Zellen. So sind z.B. bei der letzten Generation, den Spermatiden, bedeutend mehr Zellen miteinander verbunden als hier gezeichnet).

Die Spermatozytogenese

Bei den **Spermatogonien** (insges. über 1 Milliarde in beiden Hoden), die die basale Schicht des Keimepithels bilden, werden mehrere Typen unterschieden: **Gewisse Typ A Zellen** werden als Stammzellen angesehen, die sich mitotisch teilen und ihre gleichen bilden (**homonyme Teilung**), wodurch die Stammzellenpopulation aufrecht erhalten wird.

Der Beginn der Spermatogenese wird durch eine sogenannte **heteronyme** Teilung eingeleitet, bei der die Tochterzellen (**zweite Gruppe von Typ A Zellen**) durch **dünne Zytoplasmabrücken** miteinander verbunden bleiben. Durch diesen Prozess wird eine Spermatogonie in den Prozess der Spermatogenese eingeschleust.

Nach einer weiteren mitotischen Teilung entstehen die **Typ B-Spermatogonien**, welche sich ebenfalls mitotisch in die primären Spermatozyten (I) teilen.

Die frisch entstandenen **primären Spermatozyten (I)** treten nun in die erste Reifeteilung der Meiose ein. Sie gehen sofort in die S-Phase (diese heisst in der Meiose **Praeleptotän**), verdoppeln ihren DNS-Gehalt, verlassen die basale Zone und gelangen unter vorübergehenden Auflösung des Schlussleistenkomplexes der Sertolizellen in das spezielle Milieu der luminalen Zone. Nach der S-Phase gelangen diese Zellen in die komplexen Stadien der **Prophase der Meiose** und werden dadurch **im Lichtmikroskop auffällig sichtbar**.

Diese **24 Tage** dauernde Prophase lässt sich in fünf Abschnitte unterteilen:

- **Leptotän**
- **Zygotän**
- **Pachytän**
- **Diploptän**
- **Diakinese**

In der Prophase kommt es in jeder Keimzelle zu einer neuen Kombination des vom Vater und von der Mutter stammenden genetischen Materials. Auf die lange Prophase folgen schnell ablaufende Metaphase, Anaphase und Telophase. Aus einer primären Spermatozyte gehen zwei sekundäre Spermatozyten hervor.

Die sekundären Spermatozyten treten direkt in die zweite Reifeteilung ein, aus der die Spermatozoen hervorgehen. Da im sekundären Spermatozyten weder eine DNS-Reduplikation noch eine Rekombination des Erbgutes erfolgt, geht die zweite Reifeteilung der Meiose zügig von statten. Sie dauert nur etwa fünf Stunden, dementsprechend selten sind in einem histologischen Schnitt sekundäre Spermatozyten auszumachen. Durch die Aufteilung der Chromatiden eines sekundären Spermatozyten entstehen zwei haploide Spermatozoen, die nur den halben DNS-Gehalt enthalten.

Die Spermatozoen sind nebst den Spermien die kleinsten Zellen des Keimepithels. Sie werden in einem mehrere Wochen dauernden Prozess (sog. Spermio-genese oder Spermiohistogenese) unter aktiver Mithilfe der Sertolizellen in Spermien umgewandelt.

Kommentar

Bei der heteronymen Teilung wird die Zytoplasmadurchschnürung nicht vollendet, die Tochterzellen bleiben durch dünne **Zytoplasmabrücken** miteinander verbunden. Auch bei der anschließenden Meiose ist die Zytoplasmadurchschnürung unvollständig, sodass aus einer Stammzelle jeweils ein **Netz von Tochterzellen** entsteht, das sich bei jeder Generation auf eine Doppelte vergrößert. Die Netzbildung gewährleistet, dass **alle Vorgänge in den einzelnen Generationen synchron** verlaufen.

Kommentar

[zur Meiose](#)



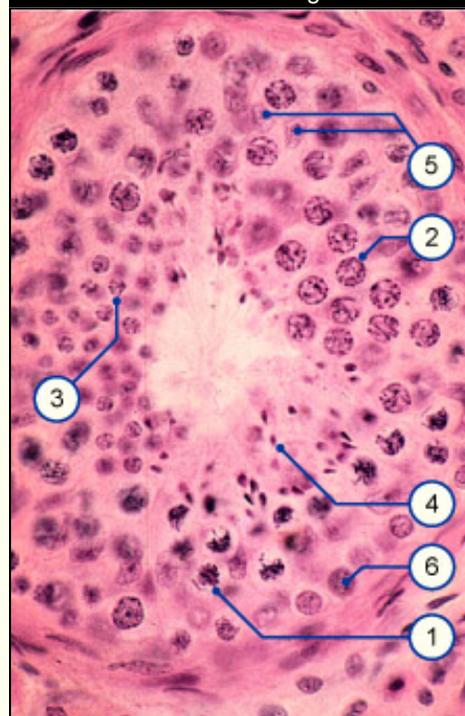
3.3 Spermatogenese

- Einleitung
- Aufbau des Keimepithels
- Entwicklungsstadien der Spermatogenese
- Zeitlicher Ablauf der Spermatogenese
- Die Spermatozytogenese
- **Örtlicher Ablauf der Spermatogenese - Die Spermatogenesewelle**
- Spermio(histo)genese und Bau des Spermiums
- Leydig'sche Zwischenzellen und hormonelle Regulation

Örtlicher Ablauf der Spermatogenese Die Spermatogenesewelle

Bei der Betrachtung eines Schnittes durch einen Tubulus seminiferus contortus fällt auf, dass Zellen in gleichartigen Reifungsstadien gruppenweise auftreten. Andererseits sind in einem Tubulusanschnitt nicht alle Stadien der Spermatogenese vertreten.

Abb. 13 - Entwicklungsstadien



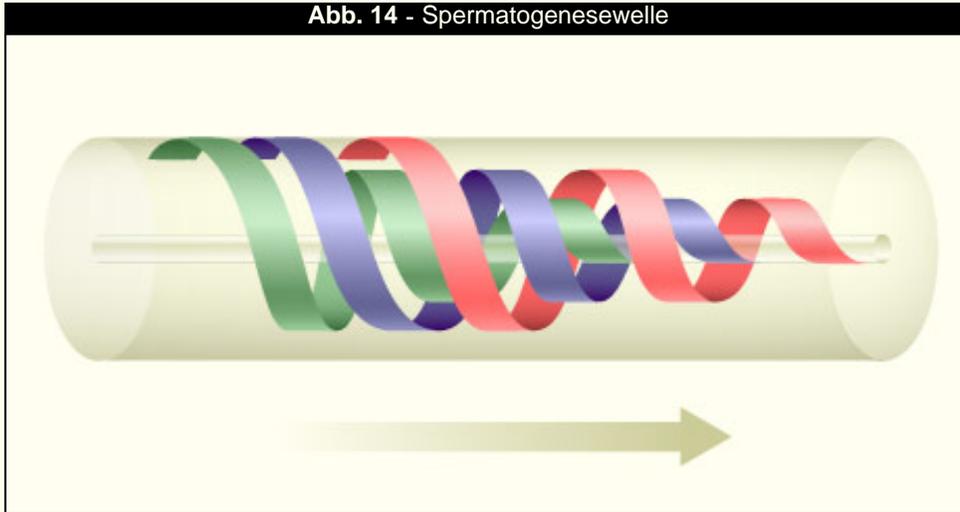
- 1 Leptotän/Zygotän der Spermatozyten Typ I
- 2 Pachytän der Spermatozyten Typ I
- 3 Frische Spermatiden
- 4 Ältere Spermatiden (Spermien Köpfe erkennbar)
- 5 Sertoli-Stützzelle
- 6 Spermatoγονie

Legende

Abb. 13
Verschiedene Entwicklungsstadien in einem lichtmikroskopischen Schnitt durch einen Tubulus seminiferus contortus.

Der Grund für dieses Erscheinungsbild liegt zum einen in der Tatsache, dass die bei jedem Teilungsschritt entstehenden Tochterzellen über dünne Zytoplasmabrücken verbunden bleiben. So wird bei jedem Teilungsschritt die nachfolgende Generation doppelt so gross, bis die Zellen ein relativ komplexes Netzwerk bilden. Es kommt zu einem gruppenweisen Auftreten von Zellen des gleichen Entwicklungsstadiums. Zum andern sind zusätzlich mehrere Spermatogenese-Generationen spiralg ineinander verwunden. Deshalb sieht man auf einem Tubulus Querschnitt Gruppen von verschiedenen Generationen zusammentreffen. Trotzdem ist es aber kaum möglich, sämtliche Entwicklungsstadien gleichzeitig auf einem Schnitt anzutreffen.

Abb. 14 - Spermatogenesewelle



Legende

Abb. 14
Diese Abbildung zeigt drei Wellen von Spermatogenese-Generationen.

Entsprechend der Zeichnung bewegen sie sich spiralg, korkenzieherartig dem inneren Lumenteil hinzu. Ganz aussen am Rand des Tubulus und am Anfang der Spirale, liegen die Spermatogonien, am Ende der Spirale die ins Lumen entlassenen fertigen Spermien. Anhand der Abbildung wird ersichtlich, dass bei Tubulsanschnitten stets mehrere unterschiedliche Generationen zusammentreffen. Im Laufe der Zeit verschiebt sich die Welle der Spermatogenese nach rechts, um immer wieder von Neuem zu beginnen.

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)



3.3 Spermatogenese

- [Einleitung](#)
- [Aufbau des Keimepithels](#)
- [Entwicklungsstadien der Spermatogenese](#)
- [Zeitlicher Ablauf der Spermatogenese](#)
- [Die Spermatozytogenese](#)
- [Örtlicher Ablauf der Spermatogenese - Die Spermatogenesewelle](#)
- **Spermio(histo)genese und Bau des Spermiums**
- [Leydig'sche Zwischenzellen und hormonelle Regulation](#)

Spermio(histo)genese und Bau des Spermiums

Die Differenzierung von der Spermatide zum Spermium nennt man Spermio-genese. Sie entspricht dem letzten Teil der Spermatogenese und umfasst folgende Einzelvorgänge, die zum Teil gleichzeitig ablaufen:

- **Kernkondensation:** Verdichtung und Verkleinerung des Kerns, Kondensation des Kerninhalts auf kleinsten Raum.
- **Akrosombildung:** Bildung einer enzymhaltigen Kappe (Akrosom), die bei der Durchdringung der Zona pellucida der Eizelle eine wichtige Rolle spielt.
- **Geißelbildung:** Ausbildung des Spermischwanzes.
- **Zytoplasmareduktion:** Abwerfen aller nicht benötigten zytoplasmatischen Zellbestandteile (Residualkörperchen).

Die Spermatiden sind die kleinsten Zellen im Keimepithel. Sie liegen in der Nähe des Lumens eines Samenkanälchens.

Quiz

[Quiz 15](#)

Quiz

[Quiz 16](#)

Quiz

[Quiz 17](#)

Quiz

[Quiz 18](#)

Legende

Abb. 15 - Spermio-genese

MODUL 3

KAPITEL

LERNZIELE

QUIZ

KURZ GEFASST

REFERENZEN

◀ SEITE ▶

EMBRYOGENESE

ORGANOGENESE

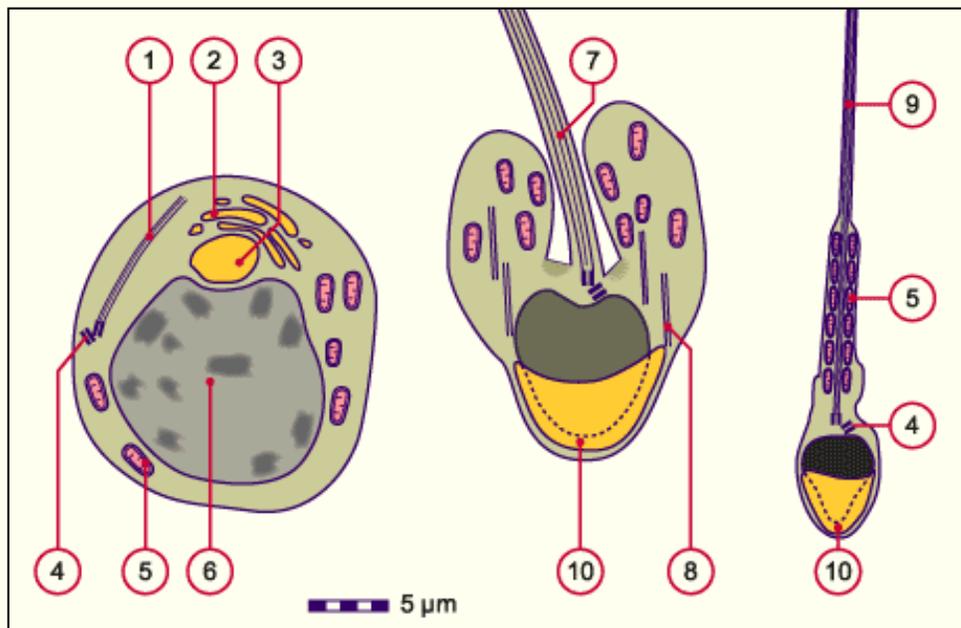
HOME

AUSTAUSCHZONE

SUCHEN

HILFE

UP ▲



- 1 Axonemale Struktur, erste Geisselanlage
- 2 Golgi Apparat
- 3 Akrosomales Bläschen
- 4 Zentriolenpaar (distales und proximales)
- 5 Mitochondrium
- 6 Kern
- 7 Geisselanlage
- 8 Mikrotubuli
- 9 Spermischwanz
- 10 Akrosomenkappe

Abb. 15
Drei verschiedene Stadien der Spermiogenese: links eine ganz frische Spermatide, rechts ein unreifes Spermium, in der Mitte ein Zwischenstadium. Durch eine Rotation des Kerns kommt es zu einer Umlagerung des akrosomalen Bläschens. Dieses stülpt sich kappenförmig über den sich immer weiter kondensierenden Kern (punktierte Linie). Die nicht mehr benötigten zytoplasmatischen Zellbestandteile werden abgeschnürt (und in Form von Residualkörperchen eliminiert) und die Mitochondrien dicht um den Anfangsteil der Geißel gepackt. Als Zeichen seiner Unreife besitzt das ins Lumen abgegebene Spermium (rechts) noch etwas Zytoplasma um den Hals. (Vergl. dazu mit Abb. 16 weiter unten)

Kernkondensation

Der Kern wird kleiner, verdichtet sich und nimmt eine charakteristische, abgeplattete Form an. Von oben betrachtet ist der Kern oval, von der Schmalseite her birnenförmig. Über die Spitze legt sich das Akrosom. Kern und Akrosom bilden den Spermienkopf, der durch ein kurzes Halsstück mit dem Schwanz verbunden ist.

Akrosombildung

Die an der Sertoli-Zelle liegende Spermatide polarisiert sich um. Der Golgi Apparat verlagert sich auf die Seite des Spermatiden Kerns, die der Sertoli-Zelle nahe liegt. Gleichzeitig wandern die Zentriolen an die gegenüberliegende Seite des Kernes, also Richtung Lumen.

Im Golgi entstehen Granula, die zu einem grösseren Gebilde konfluieren, welches sich dem Zellkern dicht anlegt und sich schliesslich kappenartig über den grössten Teil des Kernes stülpt. Dieses Akrosom entspricht funktionell einem Lysosom und enthält also lysosomale Enzyme (u.a. Hyaluronidase).

Entwicklung der Geissel

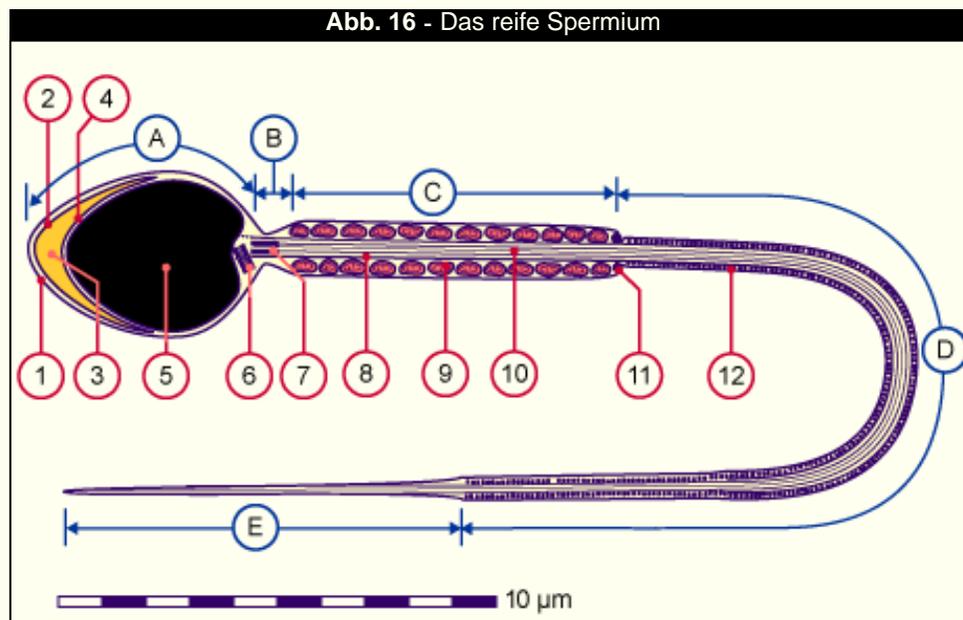
Sie geht von den beiden Zentriolen aus. Diese liegen zunächst in der Nähe des Golgi-Apparates in einer T Stellung zueinander. Aus dem distalen Zentriol wächst die zukünftige axonemale Struktur aus. Diese besteht aus einem Bündel von neun peripheren Doppel- und zwei zentralen Einzel-Tubuli. Durch die schon erwähnte Rotation von Kern und Akrosomalbläschen im Verlauf der Entwicklung kommt die Geisselanlage auf die Gegenseite des Akrosoms zu liegen.

An der fertigen Geissel sind vier Abschnitte zu unterscheiden:

- Das **Halsstück** enthält unter anderem die beiden Zentriolen (proximales und distales).
- Das **Mittelstück** besteht aus einer Scheide von ringförmig um das Axonema gruppierten Mitochondrien zur Bereitstellung der Energie für die Geisselbewegung.

- Das **Hauptstück** besitzt eine Scheide aus Ringfasern um das Axonema.
- Das **Endstück** besteht nur noch aus der 9+2 Struktur des Axonemas

Das reife Spermium ist ca. 60 µm lang und vollständig von der Plasmamembran eingehüllt.



- 1 Plasmamembran
- 2 Äussere akrosomale Membran
- 3 Akrosom
- 4 Innere akrosomale Membran
- 5 Kern
- 6 Proximales Zentriol
- 7 Reste des distalen Zentriols
- 8 Dichte äussere Längsfasern
- 9 Mitochondrium
- 10 Axonema
- 11 Anulus
- 12 Ringfasern

- A Kopf
- B Hals
- C Mittelstück
- D Hauptstück
- E Endstück

Legende

Abb. 16

Das reife Spermium ist schlank, die Mitochondrien sind im Mittelstück dicht und ringförmig den äusseren Ringfasern angelagert. Die DNS im Kern ist maximal kondensiert.

Mehr dazu

Detaillierte [Angaben](#) zu den Strukturen dieser Abbildung.

Zytoplasmareduktion

Das nicht mehr benötigte Zytoplasma der Spermatide (Residualekörperchen) wird von der Sertolizelle phagozytiert oder ins Tubulus-Lumen abgestossen. An Hals und Mittelstück des Spermiums kann ein Zytoplasmaklumpen noch eine Weile hängen bleiben.

Bei der Spermienproduktion bestehen erhebliche **individuelle Schwankungen**, die teilweise auch durch psychische Faktoren beeinflusst werden. Pro Tag werden etwa 100 Millionen Spermien produziert. Es sei gesagt, dass pro Ejakulat im Durchschnitt 50-200 Millionen Spermien abgegeben werden (WHO-Normalwert: über 40 Millionen).

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)



3.3 Spermatogenese

- Einleitung
- Aufbau des Keimepithels
- Entwicklungsstadien der Spermatogenese
- Zeitlicher Ablauf der Spermatogenese
- Die Spermatozytogenese
- Örtlicher Ablauf der Spermatogenese - Die Spermatogenesewelle
- Spermio(histo)genese und Bau des Spermiums
- Leydig'sche Zwischenzellen und hormonelle Regulation

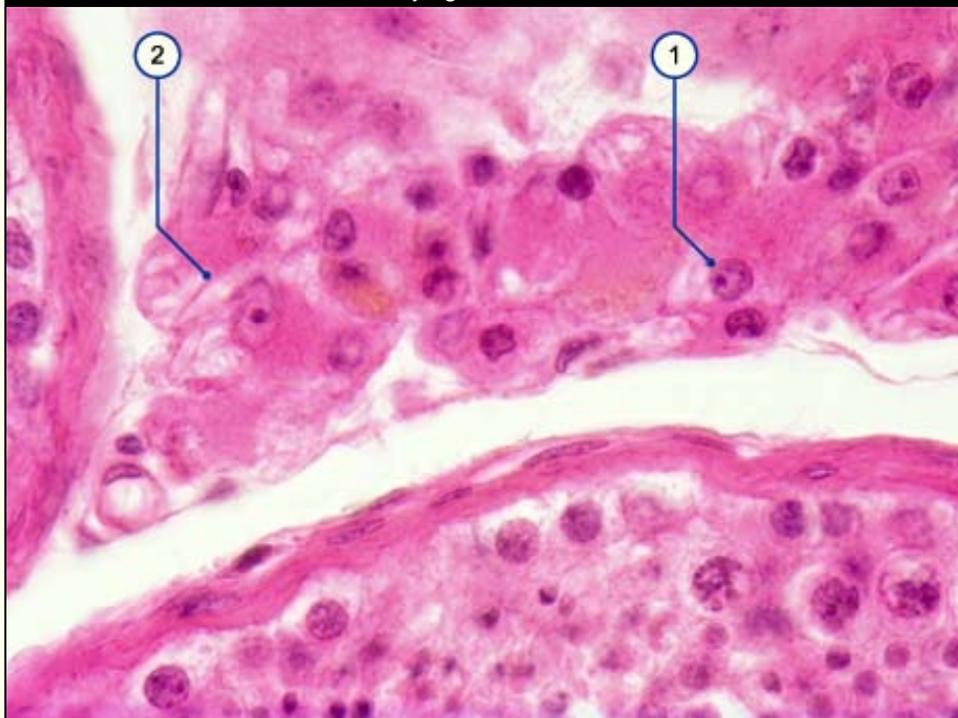
Leydig'sche Zwischenzellen und hormonelle Regulation

Zwischen den Hodenkanälchen, im lockeren Bindegewebe, liegen die Leydig'sche Zwischenzellen. Dies sind Hormonzellen, die vor allem das männliche Geschlechtshormon **Testosteron** erzeugen und ins Blut und in die Nachbarschaft ausschütten. Dies bewirkt (zusammen mit den Hormonen der Nebennierenrinde) den Beginn der Pubertät und somit die Spermienreifeung. Die Leydig'schen Zwischenzellen erlangen bei der Pubertät unter dem Einfluss des hypophysären **LH** (Luteinisierungshormon) ihr zweites Blütestadium. (Ein erstes Blütestadium machten die Leydig'schen Zwischenzellen bei der Embryonalentwicklung des Hodens durch).

Quiz

Quiz 19

Abb. 17 - Leydig'schen Zwischenzellen



- 1 Leydig'sche Zwischenzelle
- 2 Reinke'sche Kristalle

Legende

Abb. 17
Die Leydig'schen Zwischenzellen enthalten als Charakteristikum grosse Protein-Kristalle (Reinke'sche Kristalle), deren Bedeutung unbekannt ist. Die Kristalle sind ungefärbt und heben sich als helle Strukturen vom roten Zytoplasma der Leydig'schen Zwischenzellen ab.

Kommentar

Die **Testosteronproduktion** wird vom hypophysärem **LH** (Luteinisierungshormon) gesteuert. Es besteht ein negativer Rückkoppelungsmechanismus unter Einbeziehung des Hypothalamus. Ausgeprägte Zyklen in der Hormonproduktion, wie sie bei der Frau bestehen, existieren nicht.

Das hypophysäre **FSH** wirkt auf die **Sertolizellen**, in denen es die Bildung eines Testosteron-bindenden Proteins auslöst. Dadurch kann Testosteron von der Sertolizelle in die luminalen Zone transportiert und dort konzentriert werden. Testosteron ist für die Spermatogenese entscheidend.

Testosteron wird aber auch über Blut und Lymphe abgeführt. Es wirkt offenbar auf sämtliche Gewebe, insbesondere auch auf das Gehirn(!) und auf die Geschlechtsorgane selbst.

[Anfang des Kapitels](#) | [Vorherige Seite](#) | **[Nächstes Kapitel](#)**

embryology.ch



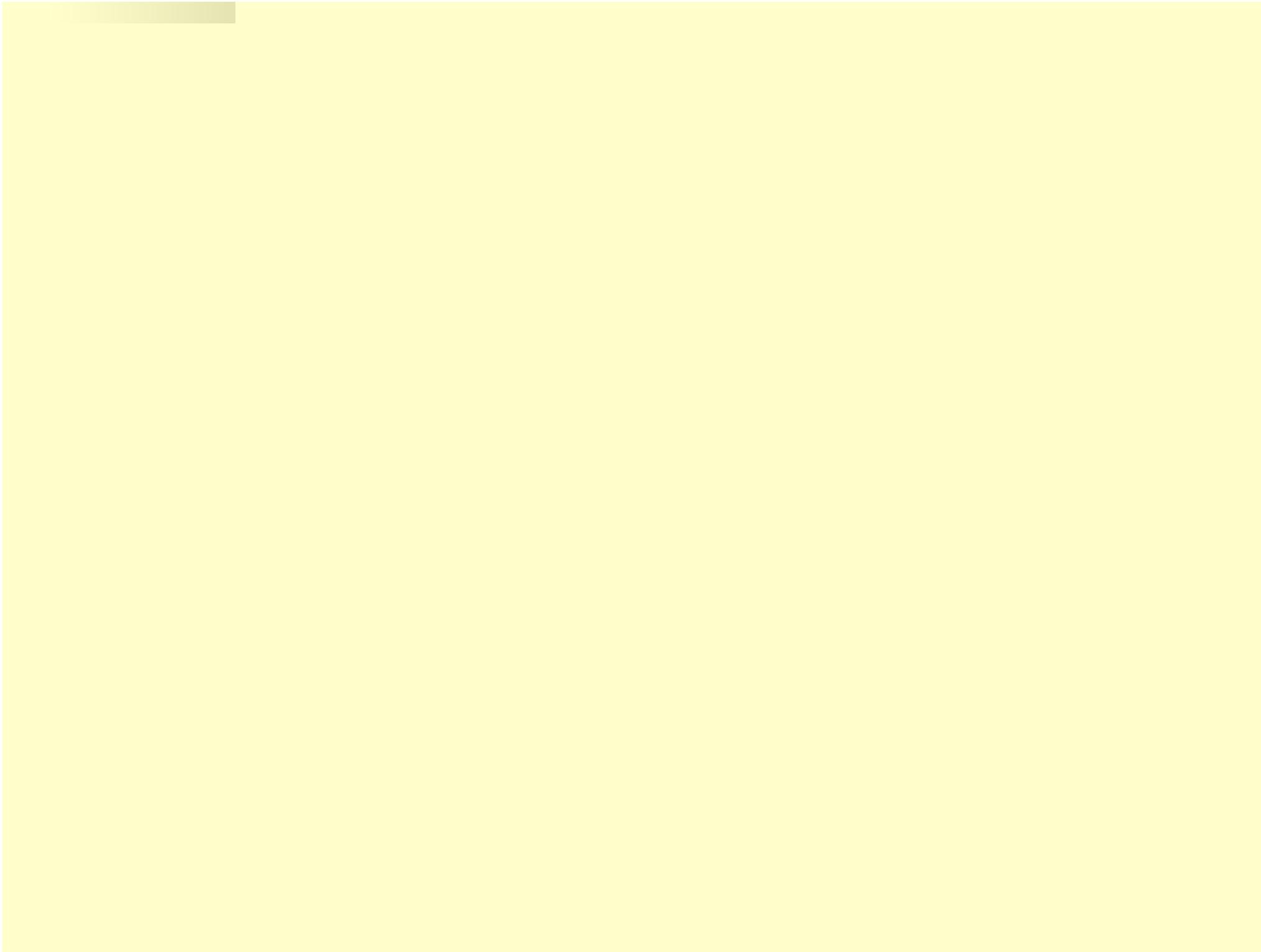
- [Einführung](#)
- [Hilfe](#)
- [Hinweis](#)
- [Aktualisierungen](#)
- [Copyright](#)
- [Credits](#)
- [Pressepiegel](#)
- [Sponsoren](#)
- [Kontakte](#)

- [Français](#)
- [Deutsch](#)
- [English](#)
- [Dutch](#)

HUMANEMBRYOLOGIE

- ▶ [Embryogenese](#)
- ▶ [Organogenese](#)

Online Embryologiekurs für Studierende der Medizin
Entwickelt von den Universitäten Fribourg, Lausanne und Bern (Schweiz)
mit Unterstützung des Schweizerischen Virtuellen Campus.
© Copyright protected





3.4 Oogenese

- **Anmerkung**
- **Entwicklung der Keimzellen im Ovar**
- **Aufbau des Ovars**
- **Die Follikelstadien vom Primordialfollikel zum Tertiärfollikel**
 - Primordialfollikel
 - Primärfollikel
 - Sekundärfollikel
 - Tertiärfollikel
 - Graafscher Follikel
- **Zeitlicher Verlauf der Keimzellenzahl / Follikelzahl**
 - Die Atresie -- das übliche Schicksal eines Follikels
- **Der Ovarialzyklus**
 - Der hormonelle Zyklus

Anmerkung

Im Zusammenhang mit der Oogenese ist vor allem die Entwicklung der Follikelstadien von Interesse. Da der sprungbereite Follikel mit seiner Eizelle die letzten Reifungsschritte unmittelbar vor der Ovulation und damit der Befruchtung durchmachen, werden die damit verbundenen komplexen Abläufe im Modul Befruchtung behandelt.

Entwicklung der Keimzellen im Ovar

Nach der Einwanderung der **Urkeimzellen** in die Genitalleiste proliferieren diese, werden vom Zölomepithel ausgeschiedet und bilden Keimstränge, welche aber die Verbindung zum Zölomepithel beibehalten. Es lässt sich nun eine Rindenzone (Cortex ovarii) und eine Markzone (Medulla) unterscheiden, wobei zu erwähnen ist, dass im weiblichen Geschlecht wahrscheinlich nie Keimstränge bis in die Markzone eindringen. In der Genitalanlage laufen dann die folgenden Vorgänge ab:-

- Ein **Proliferationsschub** (15 Woche bis 7 Monat) setzt ein: Aus den Urkeimzellen entstehen in der Rindenzone durch rasch aufeinanderfolgende Mitosen viele durch Zellbrücken verbundene **Zellklone von Oogonien**. Die **Zellbrücken** sind für einen synchronen Eintritt in die nachfolgende Meiose nötig.

MODUL 3

KAPITEL

LERNZIELE

QUIZ

KURZ GEFASST

REFERENZEN

◀ SEITE ▶

EMBRYOGENESE

ORGANOGENESE

HOME

AUSTAUSCHZONE

SUCHEN

HILFE

UP ▲

- Nach Eintritt der Oogonien in die Meiose (frühester Eintritt in die Prophase in der 12. Woche) ändert sich ihre Bezeichnung. Sie heißen nun **primäre Oozyten**. Die primären Oozyten werden im Stadium des Diplotän der Prophase I (Prophase der ersten meiotischen Teilung) arretiert. Kurz vor der Geburt haben alle Oozyten im fetalen Ovar das Diplotänstadium erreicht. Die nun einsetzende Ruhephase der Meiose wird **Diktyotän** genannt und dauert bis zur **Pubertät**, wo monatlich ein paar primäre Oozyten die erste Reifeteilung vollenden. Zur zweiten Reifeteilung und zum nachfolgenden Eisprung gelangen jeweils nur wenige Oozyten (sekundäre Oozyten plus 1 Polkörperchen). Die restlichen monatlich herangereiften Oozyten werden atretisch. Die im Ovar verbleibenden primären Oozyten können im Extremfall bis zur Menopause im Diktyotän verharren, ohne je in einem Zyklus heranzureifen.
- Während sich die Oogonien zu primären Oozyte wandeln, werden die Eizellen umstrukturiert. Nachdem sie in der Prophase I der ersten Reifeteilung arretiert sind, werden sie isoliert (Zellbrücken werden aufgelöst) und **einzeln** von einer einschichtigen Lage von **flachen Follikel epithelzellen** (Abkömmlinge des Zölomepithels) eingeschlossen. (Eizelle + Follikel epithel = **Primordialfollikel**).

Von der Geburt an gibt es also zwei verschiedene Strukturen, die es zu unterscheiden gibt, die sich zumindest **begrifflich nicht zeitgleich weiterentwickeln**:

- Einmal die **weibliche Keimzelle**, die bei der Geburt eine primäre Oozyte ist, sich aber erst nach der Pubertät weiterentwickeln kann (hormoneller Zyklus / Ovarialzyklus ist dazu nötig).
- Zum anderen der **Follikel** (Follikel epithel + Eizelle), der sich vom Primordialfollikel aus ebenfalls über mehrere **Follikelstadien** weiterentwickeln kann. (Eine beschränkte Weiterentwicklung kann für einige Follikel schon vor der Geburt einsetzen).

Die **Reihenfolge der Entwicklung** der weiblichen Keimzelle lautet wie folgt:

- **Urkeimzelle - Oogonie - Primäre Oozyte - primäre Oozyte im Diktyotän**

Geburt

Die weitere **Entwicklung / Reifung** der Oozyte setzt erst wenige Tage vor dem Eisprung wieder ein ([siehe Modul Befruchtung](#)).

Die **Reihenfolge der Entwicklung** eines Follikels läuft über verschiedene **Follikelstadien**:

- **Primordialfollikel - Primärfollikel - Sekundärfollikel - Tertiärfollikel (Graaf'scher Follikel)**

Da der Follikel zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung absterben kann (= **Atresie**), erreichen nicht alle das Stadium des Tertiärfollikels.

Aufbau des Ovars

Das Ovar wird in eine **Rindenzone** (Cortex ovarii) und in eine **Markzone**

Abb. 18 - Follikelstadien im Ovar

Mehr dazu

Stadien der [Prophase der ersten Reifeteilung](#) der Eizelle

Legende

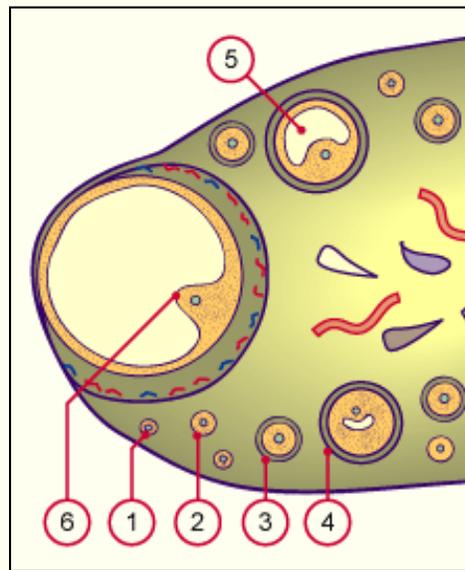
(Medulla ovarii) unterteilt.

Im lockeren Bindegewebe der Markzone befinden sich Blut- und Lymphgefässe und in der **Rindenzone** die Oozyten in **verschiedenen Follikelstadien**.

Unter dem Einfluss von

Geschlechtshormonen kommt es zu einem Wachstum der Primordialfollikel verbunden mit einem strukturellen Umbau. Es entwickelt sich aus den Primordialfollikeln nacheinander Primärfollikel, Sekundärfollikel und Tertiärfollikel. Nur ein **kleiner Prozentsatz** der Primordialfollikel erreicht das Stadium der Tertiärfollikel, der überwiegende Teil geht schon vorher in verschiedenen Reifestadien zugrunde: grosse Follikel hinterlassen dabei eine Narbe in der Rindenzone, die kleinen verschwinden spurlos.

Die Tertiärfollikel werden am grössten und können kurz vor der Ovulation durch einen besonderen Wachstumsschub bis zu 25mm Durchmesser erreichen. Sie werden dann als Graaf'sche Follikel bezeichnet.



- 1 Primordialfollikel
- 2 Primärfollikel
- 3 Sekundärfollikel
- 4 Tertiärfollikel
- 5 Antrum folliculi
- 6 Cumulus oophorus

Abb. 18

In der Rindenzone des Ovars sind Follikel in verschiedene Stadien gezeichnet. Diese stark schematische Zeichnung stellt die Verhältnisse am ehesten kurz vor dem Eisprung dar. In Wirklichkeit sind die Primordialfollikel zahlenmässig am meisten vertreten.

[Mehr Information zu diesem Bild](#)

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)



3.4 Oogenese

- Anmerkung
- Entwicklung der Keimzellen im Ovar
- Aufbau des Ovars
- **Die Follikelstadien vom Primordialfollikel zum Tertiärfollikel**
 - **Primordialfollikel**
 - **Primärfollikel**
 - **Sekundärfollikel**
 - **Tertiärfollikel**
 - **Graafscher Follikel**
- Zeitlicher Verlauf der Keimzellenzahl / Follikelzahl
 - Die Atresie -- das übliche Schicksal eines Follikels
- Der Ovarialzyklus
 - Der hormonelle Zyklus

Die Follikelstadien vom Primordialfollikel zum Tertiärfollikel

Primordialfollikel

Zum Zeitpunkt der **Geburt** sind alle überlebenden primären Oozyten von einer **dünnen einlagigen Schicht** sogenannter Follikelepithelzellen umgeben. Diese sind durch eine dünne Basalmembran vom übrigen ovariellen Stroma abgegrenzt. Die Follikelepithelzellen sind ehemalige Zölomepithelzellen. Zu jedem Zeitpunkt stellen die Primordialfollikel die **Hauptmenge der Follikel** dar.

Unter dem Einfluss von Geschlechtshormonen können sich **einige von ihnen** in den folgenden 50 Jahren zu einem oder mehreren der folgenden Stadien **weiterentwickeln**. Obwohl diese Weiterentwicklung bereits im Zeitraum vor der Geburt bis zur Pubertät stattfinden kann, ist doch deren Hauptgewicht nach der Geschlechtsreife zu verzeichnen, sobald ein regelmässiger hormoneller Zyklus einsetzt. Die letzte Phase der Reifung eines Tertiärfollikels zu einem grossen sprungbereiten Follikel bleibt dabei für die Zeit der regelmässigen Zyklen vorbehalten.

Primärfollikel

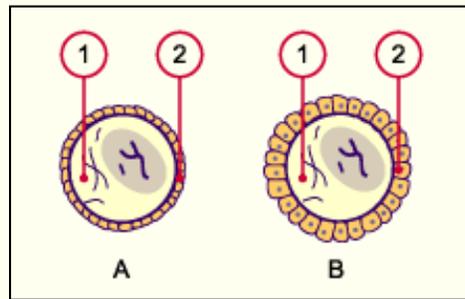
Beim Übergang des Primordialfollikels zum Primärfollikel wird das Follikelepithel, welches die Eizelle umgibt, iso- bis hochprismatisch.

Abb. 19 - Primärfollikel

Legende

Quiz

Quiz 06

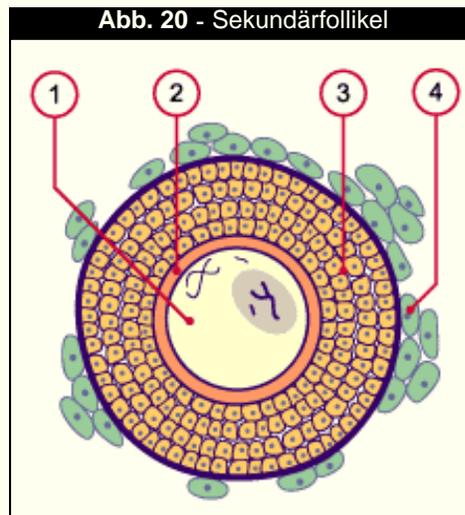


- A** Primordialfollikel
B Primärfollikel
1 Oozyte/Eizelle
2 Follikel epithel

Abb. 19
 Schema der
 Entwicklung vom
 Primordialfollikel zum
 Primärfollikel.

Sekundärfollikel

Wenn die Primärfollikel überleben, entstehen Sekundärfollikel mit einem **mehrschichtigen** Follikel epithel. Dieses wird nun **Stratum granulosum genannt**. Bei den Sekundärfollikeln wird zwischen Eizelle und Follikel epithel eine Glykoprotein-Schicht, die **Zona pellucida**, sichtbar. Zytoplasma-Ausläufer der anliegenden Granulosazellen, gelangen durch die **Zona pellucida** an die Eizelle und stellen so ihre Versorgung sicher. Ausserhalb der Basalmembran organisiert sich das Stroma ovarii zur **Theca folliculi**.



- 1** Oozyte/Eizelle
2 Zona pellucida
3 Stratum granulosum (Granulosa) Theca
4 folliculi

Legende

Abb. 20
 Schema eines
 Sekundärfollikels:
 Beim Übergang vom
 Primär- zum
 Sekundärfollikel
 entsteht aus den
 Zellen des
 Follikel epithels das
 Stratum granulosum.
 Um die
 Sekundärfollikel herum
 organisiert sich das
 Stroma ovarii zur
 Theca folliculi (interna
 und externa).

Primordial-, Primär-
 und Sekundärfollikel
 im histologischen
 Präparat.

Tertiärfollikel

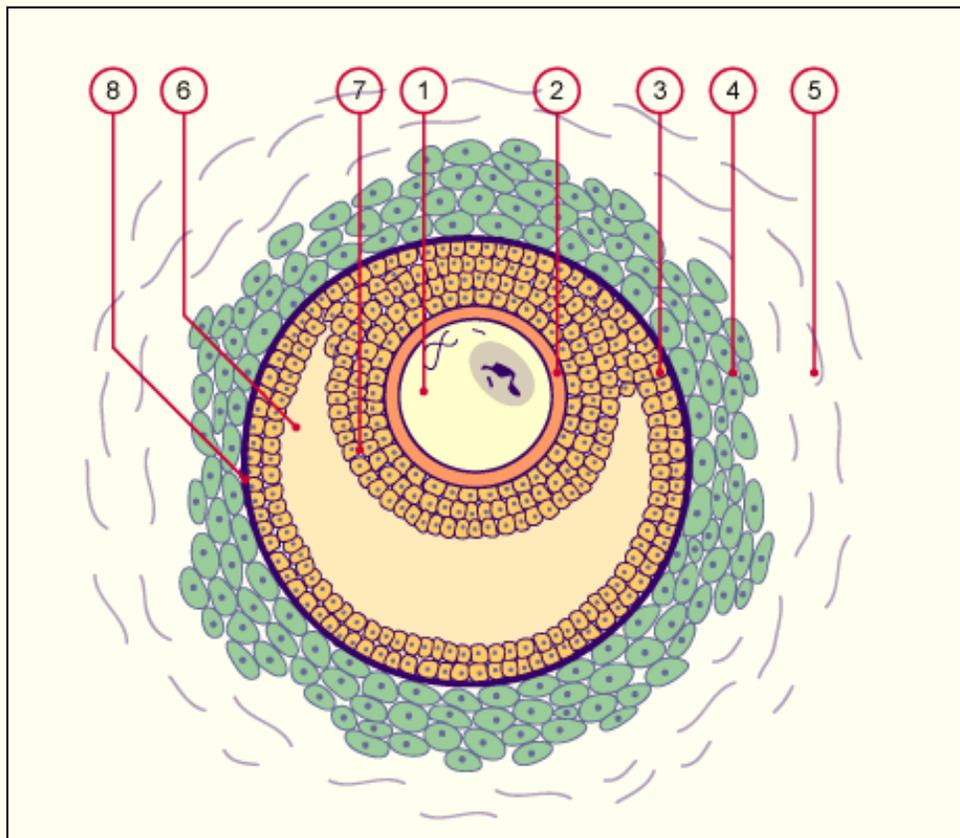
Überleben die Sekundärfollikel, entstehen Tertiärfollikel. Ihr Kennzeichen ist ein mit Liquor gefüllter Hohlraum, das **Antrum folliculi**. Die Eizelle liegt an dessen Rand in einem vom Granulosa epithel gebildeten Hügel, dem **Cumulus oophorus**. Sie ist mittlerweile so gross geworden, dass ihr Zellkern die Grösse eines ganzen Primordial-Follikels erreicht. Das Bindegewebe um den Follikel hat sich bereits deutlich in eine gut kapillarisierte Theca interna aus grossen Lipid-reichen Zellen (Hormonproduktion) und eine Theca externa differenziert, welche einen Übergang zum Stroma ovarii bildet und grössere Gefässe enthält.

Quiz

Quiz 01

Abb. 21 - Tertiärfollikel

Legende



- 1 Oozyte/Eizelle
- 2 Zona pellucida
- 3 Stratum granulosum (Granulosa)
- 4 Theca interna
- 5 Theca externa
- 6 Antrum folliculi
- 7 Cumulus oophorus (Granulosazellen formen zusammen mit der Eizelle den Eihügel)
- 8 Basalmembran zwischen Theca und Stratum granulosum

Abb. 21

Beim Tertiärfollikel lässt sich die Theca in eine interna (Hormonproduktion) und in eine externa (Übergang zum ovariellen Stroma) unterteilen.

Histologisches Präparat eines Tertiärfollikels.

Histologisches Präparat eines Cumulus Oophorus.

Entscheidend für ein erfolgreiches Follikelwachstum ist ein gut ausgebildetes Kapillarnetz in der Theca interna. Die genauen Kontrollmechanismen die zur Auswahl eines Follikels und zur Reifung bis zum Graaf'schen Follikel führen, sind noch unbekannt. Vor der Ovulation geschieht ein Wachstumsschub des Tertiärfollikels.

Graaf'scher Follikel

Dieser entspricht einem besonders grossen Tertiärfollikel von dem erwartet werden kann, dass er zum Eisprung gelangt.

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)



3.4 Oogenese

- Anmerkung
- Entwicklung der Keimzellen im Ovar
- Aufbau des Ovars
- Die Follikelstadien vom Primordialfollikel zum Tertiärfollikel
 - Primordialfollikel
 - Primärfollikel
 - Sekundärfollikel
 - Tertiärfollikel
 - Graafscher Follikel
- Zeitlicher Verlauf der Keimzellenzahl / Follikelzahl
 - Die Atresie -- das übliche Schicksal eines Follikels
- Der Ovarialzyklus
 - Der hormonelle Zyklus

Zeitlicher Verlauf der Keimzellenzahl / Follikelzahl

Die Keimzellenzahl im weiblichen Organismus unterliegt während der Fetalperiode starken Schwankungen.

Diese kommen dadurch zustande, dass in den unten aufgeführten Phasen Proliferation und Abbau von Eizellen zum Teil gestaffelt oder parallel ablaufen.

Phase A:

Urkeimzellen wachsen ein, proliferieren und werden vom Zölomepithel ausgeschiedet. Keimstränge (Rindenstränge) entstehen; 6.-8. Woche.

Phase B:

Wachstumsschub: Es bilden sich **Zellklone von Oogonien**, wobei die Zellen untereinander durch Zellbrücken verbunden bleiben. 9.-22. Woche.

Phase C:

Die Oogonien werden zu **primären Oozyten**, die in die Prophase der ersten Reifeteilung eintreten. 12.-25. Woche.

Phase D:

Die primäre Oozyten werden im **Diktyotän** der Prophase arretiert: Es entstehen die **Primordialfollikel**, 16.-29. Woche.

Phase E:

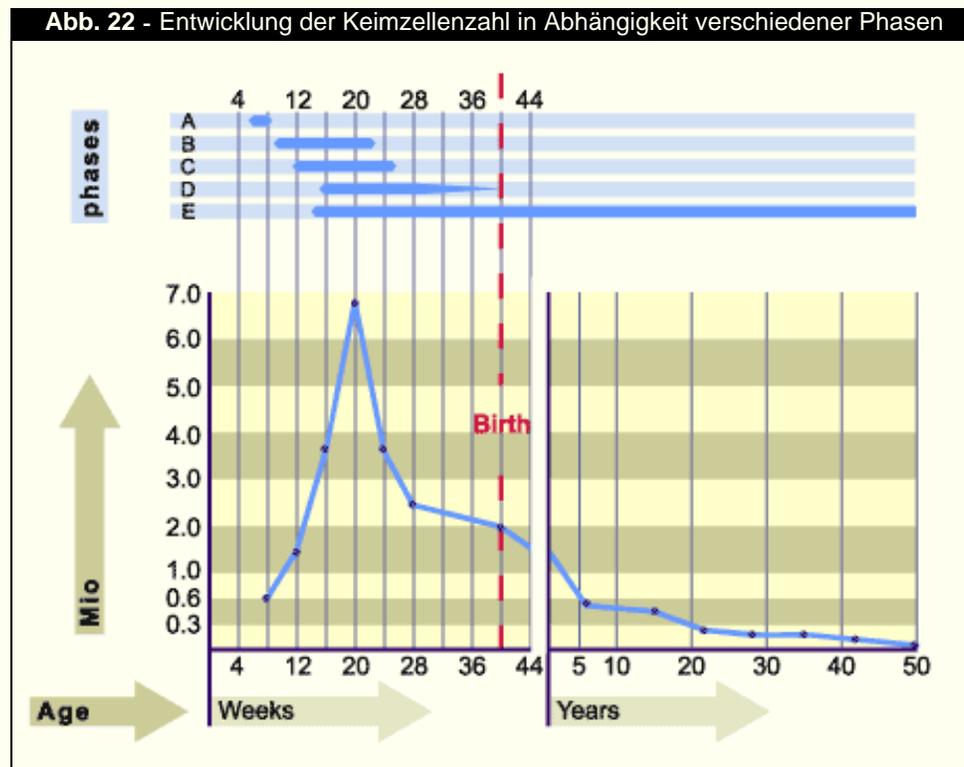
Es setzt etwa um die 14. Woche ein mengenmässig ansteigender **Untergang** von Keimzellen ein, sowie eine **Atresie** in allen Follikelstadien.

Kommentar

Bis zur 22. SSW vermehren sich die Urkeimzellen und die daraus entstehenden Oogonien durch Mitose. Die maximale Anzahl (7 Mio.) an Keimzellen, die in einem Ovar gefunden wird, wird wegen des in der 14. Woche massiv einsetzenden Keimzelluntergangs schon in der 20. Woche erreicht. Zum Zeitpunkt der Geburt sind nur noch ca. 2 Mio. Keimzellen je Ovar vorhanden. Die allerersten primären Oozyten treten in der 12. Woche in die Prophase ein. Das Durchlaufen der verschiedenen Stadien bis zur Arretierung dauert ca. 4 Wochen und ist begleitet von einer Umstrukturierung der epithelialen Hülle (Zölomepithel --> Follikelepithel), so dass die ersten Primordialfollikel mit im Diktyotän

arretierter primärer Oozyte, ungefähr vier Wochen später in der 16. Woche auftreten. Es wird heute angenommen, dass die Entstehung der Primordialfollikel zum Zeitpunkt der Geburt abgeschlossen ist.

Wie sich die Summe dieser Abläufe auf die Keimzellenzahl auswirkt, ist in der folgenden Abbildung wiedergegeben.



Legende

Abb. 22

Die obere Grafik zeigt die Zeiträume an, in denen an den Keimzellen spezifische Prozesse ablaufen.

Die untere Grafik zeigt die altersabhängige Veränderung der totalen Anzahl Oogonien respektive Oozyten und Follikel in einem einzigen Ovar.

Die Atresie - das übliche Schicksal eines Follikels

Das normale, gängige Schicksal eines Follikels oder weiblichen Keimzelle ist die **Atresie**. Die Ovulation dagegen stellt ein Ausnahme-Schicksal dar.

Obige Grafik belegt anschaulich, wie die Keimzellenzahl ab der 20. Woche abnimmt, um mit etwa 50 Jahren den Wert null zu erreichen. Obwohl die Abnahme an sich kontinuierlich verläuft, fallen doch **drei Momente** im Leben einer Frau auf, in denen diese rapider verläuft. Am stärksten ist die Abnahme nach Erreichen der maximalen Anzahl von 7 Mio. (pro Ovar) Keimzellen in der 20. Woche, also noch in der **Fetalzeit**. Unmittelbar nach der **Geburt** setzt eine weitere, kurze Periode erhöhten Untergangs ein. Die dritte, zeitlich längste aber dafür nicht mehr so starke Periode erhöhten Untergangs, findet während der **Pubertät** statt.

Als **Follikelatresie** (atretis: nicht öffnen) bezeichnet man den Untergang oder die Rückbildung von Follikeln jeden Stadiums zu jeder Zeit des weiblichen Lebens. Diese Follikel ovulieren nicht, und daraus leitet sich der Name ab. Follikelatresie tritt jedoch zu bestimmten Zeitpunkten (fetal, postnatal, Beginn der Menarche) verstärkt auf.

Erklärungen für den Einsatz einer verstärkten Atresie finden sich:

a) in der 14. Woche:

Schon während der Prophase der Meiose, vor allem im **Pachytän-Stadium** (dauert am längsten, ca. 3 Wochen), sind die Zellen besonders anfällig und gehen ein. Mit der Bildung der Primordialfollikel in der 16. Woche beginnt auch schon die **Follikelatresie** als weiterer Grund für den Keimzelluntergang. Beide Vorgänge kumuliert lassen die Keimzellenzahl auf einen Drittel (etwas über 2 Mio. / Ovar) schrumpfen.

b) postnatal:

Während der Fetalzeit werden in der Plazenta Geschlechtshormone produziert. Es kommt zu hohen Östrogen-Spiegeln im Blut der Mutter und des Feten. Diese lösen im weiblichen Feten eine nennenswerte Reifung von Primordialfollikeln bis hin zu Tertiärfollikeln aus. Wenn nach der Geburt die **Geschlechtshormon Spiegel im Feten sinken**, werden alle vorgereiften Follikel atretisch. (Es kann sogar zu einer leichten Entzugsblutung beim Neugeborenen um den 5. bis 10. Tag kommen). Pro Ovar sind danach weniger als 2 Mio. Keimzellen vorhanden.

c) während der Pubertät:

Mit dem Einsetzen der Pubertät (mit etwa 12 Jahren), kommt es wieder zu einer **erhöhten Östrogenproduktion**, welche zu einer Reifung der inneren und äusseren Geschlechtsmerkmale führt.

Nach Abschluss der Pubertät verbleiben noch ca. 250'000 Keimzellen pro Ovar. Mit dem Einsetzen eines regelmässigen Zyklus, setzt ein fast linearer Abfall der Gesamtfollikelzahl ein, der mit 40 Jahren noch zunimmt.

Mit der kontinuierlichen Abnahme der Follikelzahl nimmt auch die Produktion von Östrogenen ständig ab. Wenn mit etwa 50 Jahren keine Follikel mehr vorhanden sind, dann sistiert die Östrogenproduktion und es tritt die Menopause ein.

Kommentar

Es wird angenommen, dass das Diktyotän-Stadium der Meiose für die Eizellen einen besonderen Zustand darstellt, der äusseren physikalischen und chemischen Einflüssen gegenüber eine grosse Stabilität zeigt. Demgegenüber sind die früheren Stadien, insbesondere das Pachytän, empfindlicher.

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)



3.4 Oogenese

- Anmerkung
- Entwicklung der Keimzellen im Ovar
- Aufbau des Ovars
- Die Follikelstadien vom Primordialfollikel zum Tertiärfollikel
 - Primordialfollikel
 - Primärfollikel
 - Sekundärfollikel
 - Tertiärfollikel
 - Graafischer Follikel
- Zeitlicher Verlauf der Keimzellenzahl / Follikelzahl
 - Die Atresie -- das übliche Schicksal eines Follikels
- Der Ovarialzyklus
 - Der hormonelle Zyklus

Der Ovarialzyklus

Von den 500'000 Follikeln, die am Anfang der geschlechtsreifen Zeit in beiden Ovarien vorhanden sind, erreichen insgesamt nur etwa 450 den Follikelsprung und führen damit zur Freisetzung einer Eizelle (Ovulation).

Die Ovulation stellt das Ausnahmeschicksal eines Follikels dar.

Der hormonelle Zyklus:

Verantwortlich für die periodische Ovulation sind zyklische Veränderungen im Hormonhaushalt (hormoneller Zyklus), die vom hypothalamisch-hypophysären System gesteuert sind. Die **rhythmische hormonelle Steuerung** führt bei der Frau zu folgenden zyklischen Ereignissen:

1. dem **Ovarialzyklus (Follikelreifung)**, welcher in der Ovulation und der anschliessenden Gelbkörperbildung gipfelt
2. zu zyklischen Veränderungen des **Endometriums** (Uterusschleimhaut), welche zur Vorbereitung der Uterusschleimhaut zur Einnistung der befruchteten Eizelle dienen. Findet keine Implantation statt, wird die Mucosa eliminiert (= menstruale Blutung).

Module

Ovulation:
(siehe Modul [Befruchtung](#))
Gelbkörperbildung:
(siehe Modul [Plazenta](#))
Zyklus des Endometriums:
(siehe [Implantation](#))

Im **Zentrum** dieser hormonellen Steuerung ist das **Hypothalamus-Hypophysen-System** mit dem GnRH und den beiden Gonadotropinen FSH und LH. Die pulsatile Freisetzung des GnRH ist die fundamentale Voraussetzung für eine normale hypothalamisch-hypophysäre Kontrolle der zyklischen Ovarialfunktion.

FSH und LH wirken anregend auf die Reifung der Follikel im Ovar und lösen die **Ovulation** aus. Während des Ovarialzyklus werden von den Zellen der Theka interna Östrogene (sogenannte Follikelphase) und vom Corpus Luteum das Progesteron (sogenannte Sekretionsphase) gebildet.

Definitionen

GnRH:
Gonadotropin Releasing Hormon
FSH:
Follikel Stimulierendes Hormon
LH:
Luteinisierendes Hormon

Der Steuerkreis des hormonellen Zyklus hat zwei wesentliche Steuerungsanteile:

1. Die **pulsatile** Freisetzung von GnRH, sowie FSH und LH
2. Den **langen Rückkoppelungseffekt** (long-loop-feedback) der Östrogene und des Progesterons auf das Hypothalamus-Hypophysen-System. (Diese zwei Hormone werden im (sprungbereiten) Follikel synthetisiert und stammen somit aus dem Ovar, daher der Name "lange Schlaufe").

Mehr dazu

[Die Hypophyse und der Hypothalamus](#)

Der **Ovarialzyklus** dauert in der Regel **28 Tage**. Er wird in zwei Phasen aufgeteilt:

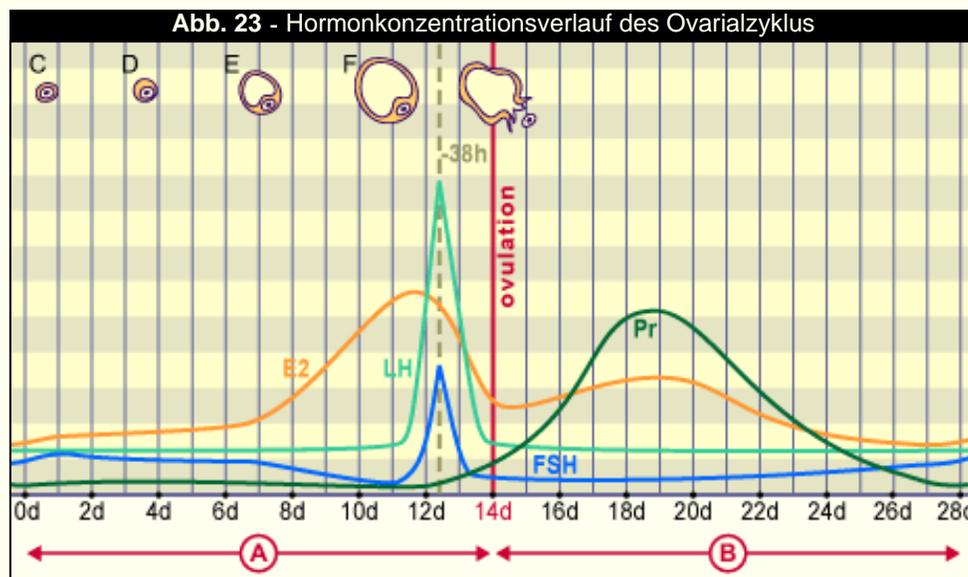
1. **Follikelphase:** In dieser kommt es zur **Rekrutierung** einer sogenannten Follikelkohorte und innerhalb dieser zur Selektion des **sprungreifen Follikels**. Diese Phase endet mit dem **Eisprung**. **Östradiol** ist das Leithormon. Sie dauert in der Regel 14 Tage, kann aber **beträchtlich variieren!**
2. **Lutealphase:** Sie ist die Phase der **Progesteronproduktion** durch den Gelbkörper (= Corpus luteum) und dauert relativ **konstant 14 Tage**.

Mehr dazu

Rekrutierung der sogenannten Follikelkohorte: Durch die Rekrutierung werden eine bestimmte Anzahl von Primordialfollikeln zur Reifung angeregt, die folgenden Follikelstadien zu durchlaufen. ([Details](#))

Legende

Abb. 23
Die verschiedenen Follikelstadien verteilen sich über die Follikelphase. An deren Ende kommt es zur Ovulation. Östradiol ist das Hormon das im Ovar während der Follikelphase gebildet wird. Progesteron wird in der Lutealphase synthetisiert.



- A** Follikelphase
 - B** Lutealphase

 - C** Primärfollikel
 - D** Sekundärfollikel
 - E** Tertiärfollikel
 - F** Graafscher Follikel

 - E2** Östradiol
 - Pr** Progesteron
 - LH** Luteinisierendes Hormon
 - FSH** Follikelstimulierendes Hormon
-

[Anfang des Kapitels](#) | [Vorherige Seite](#) | **[Nächstes Kapitel](#)**

-

**Spielerisch Lernen:**

Testen Sie Ihr Wissen mit verschiedenen Fragen zu den einzelnen Kapiteln. Mit dem Quiz können Sie wichtige Details repetieren und dabei eventuell noch Wissenslücken aufdecken.

Die Links "[Theorie zur Frage](#)" bei den jeweiligen Fragen führen Sie direkt auf die entsprechenden Seiten des Theorieteils, wo sie die korrekte Antwort auf die Frage finden.

Wir machen Sie aber darauf aufmerksam, dass die Quiz das seriöse Durcharbeiten des Theorieteils dieses Moduls nicht ersetzen ;-)

Quiz 01: [Tertiärfollikel](#)

Quiz 02: [Größenverhältnis](#)

Quiz 03: [Urkeimzellen](#)

Quiz 04: [Genialeiste I](#)

Quiz 05: [Genialeiste II](#)

Quiz 06: [Zölomepithelzellen I](#)

Quiz 07: [Zölomepithelzellen II](#)

Quiz 08: [Sertolizelle](#)

Quiz 09: [Keimstränge](#)

Quiz 10: [Hodenkanälchen](#)

Quiz 11: [Samenepithel I](#)

Quiz 12: [Samenepithel II](#)

Quiz 13: [Spermatogenese](#)

Quiz 14: [Spermatozytogenese](#)

Quiz 15: [Spermium](#)

Quiz 16: [Spermiogenese I](#)

Quiz 17: [Akrosomenkappe](#)

Quiz18: [Spermiogenese II](#)

Quiz 19: [Leydig Zellen](#)

Achtung

Um die Quiz machen zu können, müssen Sie das Plugin **Flash 6** auf Ihrem Computer installieren (siehe "[Downloads](#)" im Hilfemenu)

[Theorie zur Frage](#)



3.7 Kurz gefasst

MODUL 3

KAPITEL

LERNZIELE

QUIZ

KURZ GEFASST

REFERENZEN

◀ SEITE ▶

EMBRYOGENESE

ORGANOGENESE

HOME

AUSTAUSCHZONE

SUCHEN

HILFE

UP ▲

Gameten und deren Vorläuferzellen (Urkeimzellen) sondern sich bereits sehr früh von den somatischen Zellen ab und gelangen aus dem Ektoderm (dritte Woche) via extraembryonales Endoderm (fünfte Woche) in die **Anlage der künftigen Gonaden, die Genitalleisten**. Durch eine Interaktion mit den Zoelomepithel-Zellen entsteht in der Genitalleiste in der siebten Woche die **Anlage zum Hoden** beim Vorhandensein eines Y-Chromosoms oder in der achten Woche die **Anlage zum Ovar**, wenn dieses fehlt.

Zur Ausbildung des **Hodens** kommt es unter anderem durch die Wirkung des **Testosterons**. Dieses wird von den Leydig'schen Zwischenzellen, die aus dem Mesenchym der Genitalleiste stammen, in einer ersten Blütezeit (Beginn siebte Woche) gebildet. Zur zweiten Blütezeit der Leydig'schen Zwischenzellen kommt es in der Pubertät, in der ein Ausreifen des Keimepithels stattfindet und damit Wachstum und Lumenbildung in den Tubuli seminiferi contorti auslöst.

Die von der **Pubertät an stattfindende Spermatogenese** führt über einen **64 Tage** dauernden **Zyklus** von der Spermatogonie zum Spermium. Am Anfang der Spermatogenese finden drei **Mitosen** bis zur primären Spermatozyte statt, die dann in die **Meiose** eintritt. Die erste Reifeteilung dauert 24 Tage, davon nimmt die Prophase mit ihren histologisch vier typischen Phasen die meiste Zeit in Anspruch. Aus der ersten Reifeteilung entstehen die sekundären Spermatozyten, die sofort in die zweite Reifeteilung eintreten, die sehr kurz ist, weil weder eine Synthese von DNS noch eine Neugruppierung der Chromosomen stattfindet. Das Resultat der zweiten Reifeteilung sind die haploiden Spermatiden. Sie differenzieren sich in 24 Tagen zu Spermien, welche dann ins Lumen der Tubuli abgegeben werden. Die Spermienproduktion verläuft in unzähligen über die Gesamtlänge der Tubuli verteilten **Spermatogenese-Generationen**, die spiralig **ineinander verwunden** sind. Die Spermienproduktion unterliegt sehr grossen Schwankungen mit einem Produktions-Mittel von 100 Mio / Tag.

Die **Oogenese** beginnt ungefähr in der **7 Woche** (Stadium 20). Die eingewachsenen **Keimstränge** im Kortex des Ovars zerfallen in einzelnen **Zellgruppen**. Es erfolgt eine rege **Proliferation**, jedoch bleiben die **Oogonien**, ähnlich wie die Spermatogonien über Zellbrücken miteinander verbunden, was eine **Synchronisierung** der Mitose bzw. der darauffolgenden Meioseschritte (Prophase) erlaubt. Sobald diese Oogonien in die Meiose eingetreten sind, spricht man von **primären Oozyten**, was aber frühestens in der 12. Woche möglich ist. Alle Oozyten werden am Ende der Prophase der ersten Reifeteilung arretiert. Diese **Ruhephase** wird als **Diktyotän** bezeichnet und kann bis ins Erwachsenenalter dauern. Zu diesem Zeitpunkt lösen sich die **primären Oozyten** aus ihrem klonalen Verband. Sie werden von flachen somatischen Zellen (**Follikel- oder Granulosazellen**) umgeben und heissen nun **Primordialfollikel**. In der 20. Woche sind nahezu 7 Mio Keimzellen gebildet und der ganze Kortex besteht aus diesen Primordialfollikeln. Nach der **Geburt** sind nur noch etwa **1-2 Mio.** vorhanden und nach der **Pubertät** noch etwa **250'000** pro Ovar.

[Liste der Kapitel](#) | [Nächstes Kapitel](#)