

## به نام آن که هستی نام از او یافت

سپاس فراوان خداوند منان را که سعادت را همراهمان نمود تا بتوانیم خدمتی را در راه تعالی دانش پزشکی در زمینه آندوکرینولوژی بالینی زنان و ناباروری تقدیم جامعه نماییم. کتابی که در دست شماست حاصل اندیشه‌های گرانقدر و تجربیات آموزشی و فعالیت‌های بالینی افرادیست که سالیان متمادی عمر خود را صرف آموزش و پژوهش نموده‌اند. در طول چند دهه اخیر پیشرفت‌های حاصل در زمینه آندوکرینولوژی و ناباروری بسیار چشم‌گیر بوده، به طوری که با تغییر نگرش‌ها در مکانیسم عملکرد هورمون‌ها و همچنین با استفاده از روش‌های کمک باروری روند کلی پیگیری و درمان ناباروری را متحول ساخته است.

همکاران جوان ما به حمد... از نعمت تسلط به زبان انگلیسی و درک و انتقال مفاهیم برخوردار بوده و ذوق خویش را در ارائه کتابی استاندارد معطوف نموده، به طوری که ترجمه کتاب آندوکرینولوژی بالینی زنان و ناباروری اسپیروف را عهده‌دار شده‌اند که راهنمای بین‌المللی همکاران در سرتاسر جهان می‌باشد.

خوشبختانه مترجمین این کتاب ارزشمند دکتر مهرناز ولدان که خود متخصص این رشته هستند به اتفاق همکارانشان دکتر قربانی و گوران‌اوریمی با توجه به شناخت عمیق مفاهیم کتاب، ترجمه‌ای را هدیه نموده‌اند، که از هر لحاظ شایان تقدیر می‌باشد. به طوری که متخصصین زنان و علاقه‌مندان بتوانند در زمانی کوتاه از اطلاعات کامل در زمینه آندوکرینولوژی بالینی و ناباروری بهره‌مند گردند. بنده توفیق انجام این کار فاخر را به همکاران ارجمند که با دقت نظر توانسته‌اند به سرعت این اثر را در اختیار همکارانشان قرار دهند تبریک عرض نموده و از درگاه ایزدمنان آرزوی تندرستی و موفقیت در ادامه خدمت دارم و مطالعه این کتاب را برای به روز شدن دانش ناباروری توصیه می‌نمایم.

همچنین از انتشارات محترم ارجمند که در پیشبرد اهداف عالیه دانش پزشکی در چند سال اخیر، از هیچگونه حمایتی دریغ ننموده‌اند سپاسگذاری می‌نمایم.

### دکتر فیروزه اکبری اسبق

استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران

جراح و متخصص زنان و زایمان - فلوشیپ نازایی و IVF



## فهرست

۱۱	بخش اول: فیزیولوژی تولیدمثل
۱۲	فصل ۱: زیست‌شناسی ملکولی برای پزشکان
۱۳	کروموزوم‌ها
۱۷	ساختار و عملکرد DNA
۲۷	تکنیک‌های زیست‌شناسی ملکولی
۳۳	شناسایی ژن‌ها
۳۶	کاربردهای بالینی
۳۹	نظر نهایی
۴۰	فصل ۲: بیوسنتز، متابولیسم و مکانیسم عمل هورمون‌ها
۴۲	نامگذاری هورمون‌های استروئیدی
۴۴	لیپوپروتئین‌ها و کلسترول
۴۷	استروئیدوژنز
۵۳	سیستم دو سلولی
۵۵	انتقال استروئیدها در خون
۵۶	متابولیسم استروژن
۵۷	متابولیسم پروژسترون
۵۹	متابولیسم آندروژن
۶۲	اهمیت تولید موضعی هورمون‌های جنسی
۶۳	دفع استروئیدها مکانیسم سلولی فعالیت
۶۴	مکانیسم فعالیت هورمون‌های استروئیدی
۸۵	آگونیست‌ها و آنتاگونیست‌ها
۹۵	مکانیسم فعالیت هورمون‌های تروپیک
۱۰۱	تنظیم هورمون‌های تروپیک
۱۲۲	فصل ۳: تخمدان - رویان‌شناسی و تکامل
۱۲۴	تخمدان انسان
۱۲۴	تخمدان جنین
۱۳۳	تخمدان‌ها در دوره نوزادی
۱۳۵	تخمدان‌ها در دوره کودکی تخمدان‌ها در بالغین
۱۴۰	فصل ۴: رحم
۱۴۱	تکامل سیستم مولری
۱۴۳	تغییرات بافت‌شناختی اندومتر طی چرخه تخمک‌گذاری

۱۵۵	تنوری تلنولوژیک وقایع اندومتری - قاعدگی
۱۵۶	رحم یک عضو اندوکراین است
۱۶۴	ناهنجاری های آناتومیک رحم
۱۶۹	لیومیوم ها (فیبروئیدهای رحمی)
۱۷۸	<b>فصل ۵: نورواندوکرینولوژی</b>
۱۷۹	گردش خون پورته هیپوتالاموس - هیپوفیز مفهوم هورمون عصبی (نوروهورمون)
۱۸۲	ترشح پرولاکتین
۱۸۳	هیپوتالاموس و ترشح GnRH
۱۹۱	ترشح گنادوتروپین ها از هیپوفیز
۱۹۳	سیستم اتوکراین - پاراکراین داخل هیپوفیز
۱۹۴	مخدرهای درونزاد (اندوژن)
۲۰۰	کاته کول استروژن ها
۲۰۱	آگونیست ها و آنتاگونیست های GnRH
۲۰۳	تانیسیت ها
۲۰۴	مسیر هیپوفیزی خلفی
۲۰۸	مغز و تخمک گذاری
۲۱۴	غده پینه آل
۲۱۷	ترشح گنادوتروپین ها طی حیات جنینی، کودکی و بلوغ
۲۲۲	<b>فصل ۶: تنظیم چرخه قاعدگی فاز فولیکولار</b>
۲۵۴	تخمک گذاری
۲۶۰	فاز لوتئال
۲۶۷	عبور از فاز لوتئال به فاز فولیکولار
۲۶۹	چرخه قاعدگی نرمال
۲۷۱	<b>فصل ۷: انتقال تخمک و اسپرم، لقاح و لانه گزینی انتقال اسپرم</b>
۲۷۸	انتقال تخم
۲۸۲	بلوغ اووسیت لقاح
۲۸۸	لانه گزینی و تشکیل جفت
۳۰۰	<b>فصل ۸: اندوکرینولوژی بارداری هورمون های استرویدی بارداری</b>
۳۱۷	هورمون های پروتئینی بارداری
۳۴۰	پروستاگلاندین ها
۳۴۷	اندوکرینولوژی زایمان
۳۶۲	پروستاگلاندین ها و گردش خون جنین
۳۶۳	پروستاگلاندین ها و تنفس جنین بلوغ ریه جنین
۳۶۵	دوره پس از زایمان

## بخش دوم: اندوکرینولوژی بالینی ..... ۳۶۶

فصل ۹: رشد و نمو جنسی طبیعی و غیرطبیعی تمایز جنسی طبیعی ..... ۳۶۷

اختلالات رشد و نمو جنسی ..... ۳۸۴

تشخیص و درمان ابهام تناسلی ..... ۴۲۳

فصل ۱۰: رشد و نمو زمان بلوغ طبیعی و غیرطبیعی اندوکرینولوژی بلوغ طبیعی ..... ۴۳۱

فیزیولوژی بلوغ طبیعی ..... ۴۳۸

مشکلات شایع همراه با بلوغ بلوغ زودرس اندیکاسیون‌های ارزیابی ..... ۴۵۰

ارزیابی رشد و نمو بلوغی زودرس ..... ۴۵۷

تاخیر در بلوغ ..... ۴۶۱

مشکلات رشدی در نوجوانان طبیعی ..... ۴۶۶

فصل ۱۱: آمنوره ..... ۴۷۷

تعریف آمنوره اصول پایه در عملکرد قاعدگی ..... ۴۷۸

ارزیابی آمنوره ..... ۴۷۹

علل اختصاصی آمنوره ..... ۴۹۶

بیماری هیپوفیزی از سر عکس گرفته شود، توموری را در ..... ۵۲۹

فصل ۱۲: عدم تخمک‌گذاری مزمن و سندرم تخمدان چند کیستی علل عدم تخمک‌گذاری ..... ۵۴۲

سندرم تخمدان چند کیستی ..... ۵۴۸

نتیجه‌گیری ..... ۵۸۲

فصل ۱۳: هیرسوتیسم بیولوژی رشد مو ..... ۵۸۳

تولید آندروژن ..... ۵۸۶

علل هیرسوتیسم ..... ۵۸۹

ارزیابی زنان مبتلا به هیرسوتیسم ..... ۵۹۲

ارزیابی آزمایشگاهی ..... ۵۹۶

درمان هیرسوتیسم ..... ۶۱۱

فصل ۱۴: اختلالات قاعدگی نگرش‌های تاریخی به قاعدگی و زنان در زمان قاعدگی ..... ۶۲۰

سندرم پیش از قاعدگی و اختلال دیس‌فوریک پیش از قاعدگی ..... ۶۲۱

دیس‌منوره ..... ۶۳۱

پاتوفیزیولوژی ..... ۶۳۲

میگرن قاعدگی ..... ۶۳۵

صرع قاعدگی ..... ۶۳۹

آسم پیش از قاعدگی نوموتوراکس، هموتوراکس و هموپتری قاعدگی ..... ۶۴۲

فصل ۱۵: خونریزی غیرطبیعی رحمی ..... ۶۴۴

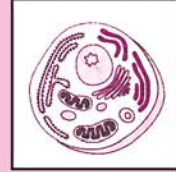
واژه‌شناسی ..... ۶۴۵

۶۴۶	..... خونریزی قاعدگی طبیعی
۶۵۱	..... پاسخ اندومتری به هورمونهای استروئیدی: فیزیولوژیک و فارماکولوژیک
۶۵۳	..... پاتوفیزیولوژی خونریزی ناشی از عدم تخمک‌گذاری
۶۵۴	..... تشخیص‌های افتراقی خونریزی غیرطبیعی رحمی
۶۵۶	..... ارزیابی تشخیصی خونریزی غیرطبیعی رحم
۶۶۱	..... درمان خونریزی ناشی از عدم تخمک‌گذاری
۶۶۵	..... هیپرپلازی اندومتر
۶۶۶	..... درمان خونریزی غیرطبیعی ناشی از علل دیگر
۶۷۰	..... درمانهای دیگر خونریزی قاعدگی شدید

بخش

اول

# فیزیولوژی تولیدمثل







## زیست‌شناسی ملکولی برای پزشکان

```
GCAGCCGTATTTCTACTGCGACGAGGAG  
GAGAACTTFRITZCTCTACCAGCAGCAG  
AGCGAGCTSPEROFFAGCCCCGGCGCC  
CAGGGATATCTGGAAGAAATTGAGCT  
CTGCCGCCCTGTCCCTAGCTGCGACGAG
```

کارهایش درگذشت. با این حال پیشرفت‌های صورت گرفته طی این ۱۵۰ سال (و عمدتاً ۵۰ سال گذشته) قابل مقایسه نیست.

جفت شدن و تفکیک کروموزوم‌ها طی تقسیم سلول، در سال ۱۹۰۳ مطرح شد، اما این فرضیه تا سال ۱۹۴۶ به اثبات نرسید. در این سال، ادوارد تیتوم<sup>۳</sup> و جاشوا لدربرگ<sup>۴</sup> در دانشگاه ییل نشان دادند که در باکتری‌ها، DNA ناقل اطلاعات وراثتی می‌باشد. جیمز واتسون و فرانسیس کریک (که در آزمایشگاه کاوندیش<sup>۵</sup> در کمبریج مشغول به کار بودند) در سال ۱۹۵۳ مدلی را برای ساختار DNA طرح نمودند؛ این مدل، مبتنی بر پارامترهایی بود که طی مطالعات کریستالوگرافی اشعه X توسط موریس ویلکینز و روزالیند فرانکلین مطرح شده بودند. واتسون، کریک و ویلکینز جایزه نوبل را در سال ۱۹۶۲ دریافت

توالی DNA فوق، آشکارا یک توالی جهش‌یافته است. این که ما می‌توانیم این رمز نوشته<sup>۱</sup> را به عنوان یک توالی نوکلئوتیدی شناسایی نموده و تغییرات جهشی را تشخیص دهیم، خود نشانگر پیشرفتی شگرف در درک زیست‌شناسی انسان می‌باشد. زیست‌شناسی ملکولی، زیرمجموعه‌ای از علوم مرتبط با درک ساختار و عملکرد ژنوم (مجموعه کامل DNA<sup>۲</sup>) است (DNA ما کرومکولی است که حاوی تمام اطلاعات وراثتی می‌باشد).

گرگور مندل، راهبی اتریشی بود که بخش اعظم زندگی خود را صرف مطالعه باغچه‌های نخودی کرد که در صومعه وی قرار داشتند. وی نخستین کسی بود که در دهه ۱۸۶۰، اصول وراثت را تشریح نمود. مندل، صفات غالب و مغلوب را تشریح کرده و "قوانین" حاکم بر انتقال و وراثت هموزیگوت و هتروزیگوت این صفات را بیان نمود. نظریه‌های مندل تا سال ۱۹۰۰ ناشناخته ماندند. متأسفانه مندل ۱۶ سال پیش از به رسمیت شناخته شدن

1- cryptogram

2- deoxyribonucleic acid

3- Edward Tatum

4- Joshua Lederberg

5- Cavendish



ملکولی، زبان خاص خود را دارد و این زبان بسیار پیچیده است. این فصل، راهنمایی برای طب ملکولی می‌باشد. آغاز یک کتاب بالینی با فصولی مرتبط با زیست‌شناسی ملکولی و بیوشیمی، تنها جهت تاکید بر این نکته است که قضاوت صحیح بالینی بر شالوده دانش پایه استوار است. از سوی دیگر، طبابت مستلزم داشتن مهارت‌های پیچیده و تکنیکی در علوم پایه نیست. بنابراین، هدف از دو فصل آغازین این کتاب، ارائه دوره‌ای جامع از علوم پایه نیست، بلکه قصد ما مرور مهم‌ترین اصول و اطلاعات موردنیاز جهت درک مفاهیم بالینی و فیزیولوژیک می‌باشد. ذکر برخی جزئیات (که به خاطر سپردن آنها برای هر فردی دشوار است) تنها از حیث کسب اطلاعات بیشتر است.

## کروموزوم‌ها

انسان، موجودی یوکاریوت<sup>۶</sup> است. یوکاریوت‌ها، موجوداتی هستند که سلول‌های آن‌ها واجد هسته‌هایی حقیقی می‌باشند؛ هسته سلول‌های یوکاریوت، توسط غشای هسته احاطه شده و تقسیم آن از طریق فرایند میتوز صورت می‌گیرد. باکتری‌ها، پروکاریوت<sup>۷</sup> می‌باشند؛ پروکاریوت‌ها فاقد هسته حقیقی بوده و تکثیر آنها از طریق تقسیم سلولی صورت می‌گیرد. به جز DNA موجود در میتوکندری‌ها، تمام DNA ما در هسته‌ای قرار دارد که توسط غشای هسته احاطه شده است. عقیده بر این است که میتوکندری‌ها از اقباب باکتری‌های بدوی هستند که از راه دهان وارد بدن اجداد ما شده‌اند؛ میتوکندری‌ها همچنان برخی از ژن‌های مهم را با خود حمل می‌کنند. از آن جایی که تخمک سرشار از میتوکندری می‌باشد، بیماری‌های مرتبط با ژن‌های میتوکندری (از جمله نوروپاتی اپتیک لبر<sup>۸</sup>) توسط مادر به فرزند منتقل می‌شوند. میتوکندری‌های اسپرم طی لقاح از بین می‌روند.

کردند؛ فرانکلین در سال ۱۹۵۸ درگذشت و همان طور که می‌دانید جایزه نوبل تنها به افراد در قید حیات تعلق می‌گیرد. همانندسازی DNA مستلزم شمار زیادی سیستم‌های آنزیمی می‌باشد. DNA پلیمرز در سال ۱۹۵۸ و RNA<sup>۱</sup> پلیمرز در سال ۱۹۶۰ جداسازی شدند. در سال ۱۹۷۸، ورنر آربر، همیلتون اسمیت و دانیل ناتان، جایزه نوبل را به علت کشف آنزیم‌های دُخیل در برش یا اتصال DNA در دهه ۱۹۶۰ دریافت نمودند. استفاده از آنزیم‌های لیگاز و اندونوکلازهای محدودکننده<sup>۲</sup> امکان تولید ملکول‌های نو ترکیب DNA را فراهم نمود؛ این امر برای نخستین بار در سال ۱۹۷۲ توسط پل برگ<sup>۳</sup> در دانشگاه استانفورد انجام شد.

در سال ۱۹۷۵، ساترن<sup>۴</sup> از دانشگاه ادینبورگ، تکنیکی را جهت انتقال (لکه‌گذاری<sup>۵</sup>) DNA از ژل آگاروز به روی فیلترهای نیتروسلولز ابداع نمود؛ این امر امکان اتصال DNA را به پروب‌های نشاندار RNA و بدین ترتیب جداسازی قطعات فراهم ساخت. کلون کردن ژن‌ها یا قطعات DNA و متعاقباً کشف این نکته خارق‌العاده که می‌توان پلاسمیدهای ناقل ملکول‌های DNA خارجی را وارد باکتری کرد، منجر به همانندسازی DNA‌های خارجی گردید.

ژنوم به مجموعه کامل DNA یک ارگانیسم اطلاق می‌شود. ژن، ناحیه‌ای پیوسته از DNA است که می‌تواند یک فرآورده پروتئینی را رمزگردانی کند؛ ژن‌ها در ساختار خود حاوی یک سری توالی‌های تنظیمی هستند که بیان ژن را تنظیم می‌کنند. مطالعه عملکردها و تعاملات تمام ژن‌های موجود در یک ژنوم در حیطه علم ژنومیک می‌باشد؛ اصطلاح "ژنومیک" نخستین بار در سال ۱۹۸۷ توسط مجله‌ای به همین نام ابداع گردید.

ما هم اینک در عصر زیست‌شناسی ملکولی به سر می‌بریم. دیری نخواهد پایید که مشکلات اندوکراین در سطح ملکولی، تشریح شده، تشخیص داده شده و درمان می‌شوند. به زودی آزمون‌های هورمونی مرسوم به جزئی از طب قدیم خواهند پیوست. نیروی زیست‌شناسی ملکولی همه عرصه‌ها را در خواهد نوردید؛ بسیاری از دستاوردهای مربوط به زیست‌شناسی ملکولی در این کتاب معرفی خواهند شد. اما متأسفانه زیست‌شناسی

1- ribonucleic acid	2- restriction endonuclease
3- Paul Berg	4- E.M. Southern
5- to blot	6- eukaryote
7- prokaryote	8- Leber's optic neuropathy

و سپس ذرات فاژ بوسیله روش blender agitation جداسازی شدند؛ متعاقباً مشخص شد که ذرات رادیواکتیو تنها در سلول‌های باکتریایی حضور دارند. کاربوتایپ معمول انسانی (معمولاً پس از مواجهه با عوامل پروتئولیتیک و رنگ‌آمیزی گیمسا به منظور تولید الگوهای نواری مشخص) به صورت آرایشی از جفت کروموزوم‌هاست. لازم به ذکر است الگوهای نواری به دست آمده، طرحی کلی را فراهم می‌آورند که با کمک آن می‌توان محل قرارگیری نقاط مختلف را تعیین نمود. طی رنگ‌آمیزی، هر بازو به مناطقی تقسیم می‌شود و هر منطقه نیز به باندهایی تقسیم می‌گردد که از محل سانترومر به سمت بیرون شماره‌گذاری می‌شوند. هر نقطه خاص بر روی کروموزوم، به ترتیب زیر مشخص می‌گردد: شماره کروموزوم، نماد بازو (p برای بازوی کوتاه و q برای بازوی بلند)، شماره منطقه، و شماره باند. به عنوان مثال 7q31.1، محل قرارگیری ژن فیبروز کیستیک است.

### میتوز

تکثیر و تقسیم سلولی تمام یوکاریوت‌ها، از مخمر گرفته تا انسان مشابه است. فرایند تقسیم هسته در تمام سلول‌های سوماتیک، میتوز خوانده می‌شود؛ طی میتوز، هر کروموزوم به دو کروموزوم تقسیم می‌گردد. جهت رشد و نمو طبیعی، تمام اطلاعات ژنومیک بایستی به طور کاملاً صحیح در تمام سلول‌ها تکثیر گردد. میتوز شامل مراحل زیر است:

### اینترفاز

طی این مرحله، تمام فعالیت‌های طبیعی سلول به جز تقسیم فعال انجام می‌شود. در این مرحله می‌توان کروموزوم X غیرفعال (جسم بار<sup>۲</sup> یا کروماتین جنسی) را در سلول‌های مونث مشاهده نمود.

### پروفاز

با شروع تقسیم، کروموزوم‌ها متراکم شده و دو

کروموزوم‌ها ساختارهایی از جنس ماده ژنتیکی هستند که از یک ملکول DNA تشکیل شده‌اند؛ این ملکول DNA واجد ژن‌های زیادی بوده و شمار زیادی پروتئین به آن متصل می‌شوند؛ نقش این پروتئین‌ها، حفظ ساختار کروموزوم و شرکت در بیان ژن می‌باشد. سلول‌های سوماتیک انسان حاوی ۴۶ کروموزوم هستند (۲۲ جفت کروموزوم اتوزوم و یک جفت کروموزوم جنسی). تمام سلول‌های سوماتیک، دیپلوئید (یعنی حاوی ۲۳ جفت کروموزوم می‌باشند). تنها گامت‌ها، هاپلوئید هستند؛ گامت‌ها واجد ۲۲ کروموزوم اتوزوم و یک کروموزوم جنسی می‌باشند. اندازه کروموزوم‌ها متفاوت بوده، از ۵۰ میلیون تا ۲۵۰ میلیون جفت باز متغیر می‌باشد. کروموزوم ۱ حاوی بیشترین تعداد ژن‌ها بوده (۲۹۶۸ ژن) و کروموزوم Y کمترین ژن‌ها را دارد (۲۳۱ ژن). تمام کروموزوم‌ها دارای بخش فشرده‌ای هستند که سانترومر نام دارد. سانترومر، کروموزوم را به دو بازو تقسیم می‌کند؛ بازوی کوتاه، p خوانده می‌شود و بازوی بلند، q. دو عضو هر جفت کروموزوم اتوزوم، همولوگ هستند؛ هر کروموزوم همولوگ، از یک والد به ارث می‌رسد. تعداد کروموزوم‌ها دال بر پیچیده‌تر و پیشرفته‌تر بودن سطح تکاملی نیست؛ به عنوان مثال سگ دارای ۷۸ کروموزوم و ماهی کپور دارای ۱۰۴ کروموزوم می‌باشند.

هر ژن، واحدی از DNA است که بر روی کروموزوم قرار داشته و می‌تواند فعال شده و RNA اختصاصی خود را تولید نماید. جایگاه هر ژن بر روی یک کروموزوم خاص، نشانگر لوکوس آن ژن است. از آن جایی که ۲۲ جفت کروموزوم اتوزوم وجود دارد، اکثر ژن‌ها به صورت زوج در سلول حضور دارند. جفت‌های ژنی، زمانی که مشابه یکدیگر باشند هموزیگوت در نظر گرفته می‌شوند و زمانی که شبیه یکدیگر نباشند هتروزیگوت در نظر گرفته خواهند شد. تنها ۲ درصد از ژنوم انسان، حاوی ژن‌هایی است که سنتز پروتئین‌ها را رمزگردانی می‌کنند. در سال ۱۹۵۲، آلفرد هرشی<sup>۱</sup> و مارتا چیس<sup>۲</sup> تایید نمودند که DNA واسطه نقل و انتقالات ژنتیکی می‌باشد. در آزمایش آنها که به آزمون اختلاط<sup>۳</sup> مشهور است، باکتری‌ها توسط DNA نشاندار موجود در باکتریوفاژها آلوده شدند

1- Alfred Hershey

2- Martha Chase

3- blender experiment

4- Barr body

جدا شده و وارد سلول‌های جدید می‌شوند.

### نخستین تقسیم میوز (میوز I)

پروفاز

لپوتن<sup>۱</sup>: متراکم شدن کروموزوم‌ها.

زیگوتن<sup>۲</sup>: جفت شدن کروموزوم‌های همولوگ (سیناپس).

پاکیتن<sup>۳</sup>: هر جفت کروموزوم، ضخیم شده و چهار رشته را تشکیل می‌دهد. پاکیتن، مرحله‌ای است که طی آن کراسینگ اور<sup>۴</sup> یا نوترکیبی (مبادله DNA قطعات همولوگ بین دو رشته از چهار رشته) روی می‌دهد. کیاسماتا به معنای محل‌های تماسی است که فرایند کراسینگ اور روی می‌دهد (این مکان‌ها قابل مشاهده‌اند). جابجایی قطعات DNA، روشی برای خلق تنوع ژنتیکی می‌باشد. از سویی، ورود توالی‌ها طی گامتوژنز می‌تواند منجر به بیماری‌های ژنتیکی شود. نوترکیبی توأم با جابجایی، با استفاده از آنزیم‌هایی که توالی‌های خاصی از اسید نوکلئیک را شناسایی می‌کنند، امکان وارد شدن عناصر ژنتیکی به هر ناحیه از کروموزوم را فراهم می‌آورد. این روشی است که ویروس‌ها از آن برای تغییر<sup>۵</sup> سلول‌های میزبان استفاده می‌کنند (از جمله ویروس نقص ایمنی انسانی).

دیپلوتن<sup>۶</sup>: تفکیک طولی هر یک از کروموزوم‌ها.

### متافاز، آنافاز و تلوفاز میوز I

غشای هسته ناپدید شده و کروموزوم‌ها به مرکز سلول انتقال می‌یابند. یک کروموزوم از هر جفت کروموزوم به یک قطب و کروموزوم دیگر، به قطب دیگر سلول رفته و سلول تقسیم می‌گردد. میوز I اغلب تحت عنوان تقسیم کاهش‌ی خوانده می‌شود، زیرا هر سلول جدید دارای تعداد هاپلوئیدی از کروموزوم‌ها می‌باشد. وراثت مندلی طی نخستین تقسیم میوز روی می‌دهد. کراسینگ اورهایی که پیش از متافاز روی می‌دهند، باعث ایجاد ترکیب‌های جدیدی از ماده ژنتیکی می‌شوند که

کروماتید قابل مشاهده می‌شوند. غشای هسته ناپدید می‌گردد. سانتیریول، اندامکی است که خارج از هسته قرار داشته و دوک‌های تقسیم سلول را به وجود می‌آورد؛ سانتیریول، خود تکثیر شده و دو سانتیریول به قطب‌های مخالف سلول مهاجرت می‌کنند.

### متافاز

کروموزوم‌ها به مرکز سلول مهاجرت کرده و خطی را تشکیل می‌دهند که صفحه استوایی خوانده می‌شود. کروموزوم‌ها اینک در حداکثر تراکم خود هستند. در این مرحله، دوک (میکروتوبول‌هایی از جنس پروتئین که از سانتیریول‌ها نشأت گرفته و به سانترومرها متصل می‌شوند) تشکیل می‌گردد.

### آنافاز

تقسیم در صفحه طولی سانترومرها روی می‌دهد. دو کروماتید جدید از طریق انقباض دوک‌ها، به قطب‌های مخالف سلول کشیده می‌شوند.

### تلوفاز

تقسیم سیتوپلاسم در صفحه استوایی آغاز شده و با تشکیل دو غشای سلولی کامل خاتمه می‌یابد. دو گروه کروموزومی، توسط غشاهای هسته‌ای احاطه شده و هسته‌های جدید را تشکیل می‌دهند. هر رشته DNA به عنوان الگو عمل کرده و محتوای DNA سلول دو برابر می‌گردد.

### میوز

میوز نوعی تقسیم سلولی است که به تشکیل گامت‌ها منجر می‌شود. گامت‌ها از لحاظ تعداد کروموزوم‌ها هاپلوئید می‌باشند. میوز با دو هدف انجام می‌شود: کاهش تعداد کروموزوم‌ها و انجام نوترکیبی برای انتقال اطلاعات ژنتیکی. در میوز I، کروموزوم‌های همولوگ جفت شده و سپس جفت‌های کروموزومی از یکدیگر جدا می‌شوند. میوز II مشابه میتوز است، زیرا در این مرحله، کروموزوم‌هایی که قبلاً تقسیم شده‌اند، از یکدیگر

1- leptotene

2- zygotene

3- pachytene

4- crossing over

5- transformation

6- diplotene



