* فام تن از DNA و پروتئین تشکیل شده است . ویژگی های ماده وراثتی موجود در هسته در زمان های مختلف :

یاخته در حال تقسیم باشد ‹‹‹‹‹‹ به صورت فام تن فشرده شده

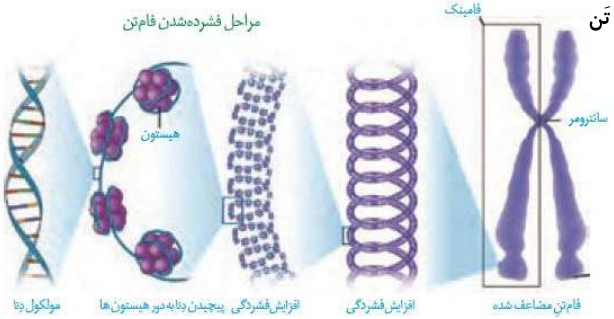
یاخته در حال تقسیم نباشد ‹‹‹‹‹‹ به صورت فامینه(کروماتین) . فشردگی کمتر است و به صورت توده های درهم می باشد

نکته : در بیشتر عمر یاخته ، فامینه قابل مشاهده بوده و فشردگی ماده وراثتی کم است (نه اینکه فشرده نباشد !)

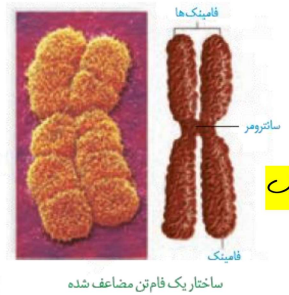
* هر رشته ی فامینه ، دارای واحد های تکرار شونده به نام هسته تَن (نوکلئوزوم) است . در هر هسته تن ، مولکول دنا حدود ۲ دور در اطراف ۸ مولکول پروتئینی به نام هیستون پیچیده است .

نکته : هم در فام تن فشرده شده و هم در فامینه ،هیستون ها وجود داشته و مولکول دنا به دور آن ها پیچیده است

نکته : در اثر افزایش فشردگی در فام تن ، هسته تن های متوالی به هم نزدیک شده و فاصله بین آن ها کم می شود



* فام تن مضاعف شده ، یعنی فام تنی که در حداکثر فشردگی قرار داشته و دارای دو فامینک خواهری می باشد . فامینک های خواهری از نظر نوع ژن ها یکسان اند (اگر کراسینگ اور رخ دهد، این ژن ها می توانند با هم متفاوت باشند)



* فامینک های خواهری در محلی به نام سانترومر به یکدیگر متصل اند

دقت کنید که اگر فامینکی فشرده شده فاقد فامینک های خواهری باشد (یعنی فقط یک فامینک داشته باشد) ، حتی در این صورت نیز دارای سانترومر است !

نکته : سانترومر در وسط فامینک ها قرار ندارد (یکی از بازو های هر فامینک ، بلند تر است)

* هر گونه از جانداران ، تعداد معینی فام تن در یاخته های پیکری (غیر جنسی) خود دارند که به آن عدد فام تنی می گویند

دقت کنید گلبول های قرمز بالغ ، فاقد هرگونه هسته و ماده ژنتیک هستن! طراح میتونه از این نکته دام های زیادی طرح کنه. همیشه یادتون باشه هروقت اسم ماده ژنتیک و هسته و ... اومد ، گلبول قرمز رو یه گوشه ی ذهنتون نگه دارین

* یکسان بودن عدد فام تنی دو جاندار ، دلیلی بر این نیست که آن دو جاندار هم گونه یا مشابه باشند ! مثلا هم انسان و هم درخت زیتون ، در یاخته های پیکری خود ۴۶ فام تن دارند . اما از نظر شباهت ، عین سیب هستن که از وسط منجر شده 😁

* تعداد فام تن های جانداران مختلف (به جز باکتری ها) از ۲ تا بیش از ۱۰۰۰ عدد متغیر است

* برای تعیین تعداد فام تن ها و تشخیص بعضی از ناهنجاری های فام تنی ، کاریوتیپ تهیه می شود . کاریوتیپ ، تصویری از فام تن ها با حداکثر فشردگی است که براساس اندازه ، شکل و محل قرارگیری سانترومرها ، مرتب و شماره گذاری شده اند

نکته : کاریوتیپ ، از یاخته ی در حال تقسیم و در مرحله متافاز گرفته می شود

نکته : به وسیله کاریوتیپ ، محتوای ژنتیکی فام تن ها قابل بررسی است

* جاندارانی که یاخته های پیکری آن ها از هر فام تن دو نسخه داشته باشند ، دولاد می گویند .

توضیح کلی در مورد فامینک خواهری و فام تن همتا :

ببینید بچه ها ، فام تن های همتا ، جایگاه های یک نوع ژن برای ژن های مختلف دارن اما الزامی نیست که نوع ژن هاشون عین هم باشه . چرا ؟ چون هر کدوم از فام تن های همتا ، از یکی از والدین اومدن . اما فامینک های خواهری ، جایگاه های یک نوع ژن برای ژن های مختلف دارن و دقیقا نوع ژن هم در اون ها یکسان هستش . چون حاصل همانندسازی همون فام تن بودن و از جای دیگه ای نیومدن (البته بدون در نظر گرفتن جهش) . یه مثال غیر علمی بزنم که براتون ملموس تر بشه (این مثال علمی نیست و فقط برای درک بهتره) :

مثلا فرض کنیم روی فام تن های شماره ۱۵ ، ژن مربوط به رنگ پوست قرار داره . خب ما دو تا فام تن شماره ۱۵ داریم که همتا هستن . هر کدوم از این فام تن ها هم دوتا فامینک خواهری دارن که دقیقا محتواشون یک نوع و ذره هم با هم ندارن . ممکنه ژن موجود در فام تنی که از پدر اومده ، رنگ سیاه رو ایجاد کنه و ژن مادر ، رنگ سفید . خلاصه اینجاست که رابطه های ژنتیک اثر شونو میذارن . اگه این صفت (رنگ پوست) براساس رابطه بارز و نهفته تعیین بشه ، اون رنگی که غالب باشه ظاهر میشه (مثلا فرد سیاه میشه) . اگه براساس بازیت ناقص این صفت تعیین بشه ، صفت حد واسط (رنگ سبزه) ظاهر میشه و ...

اما روی فامینک های خواهری هر فام تن ، ژن های یکسانی وجود داره ! مثلا روی هر دو فامینک فام تنی که از پدر اومده ، ژن مربوط به رنگ سیاهه و لا غیر!

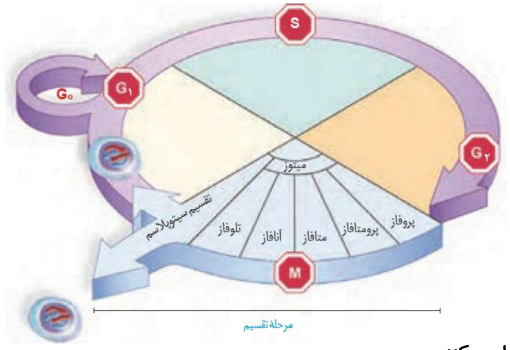
پس اگه بخوایم یه جمله ی کلی بگیم : فام تن های همتا ، موضوع ژن هاشون یکسانه اما محتوای ژن ها میتونه متفاوت باشه . ولی فامینک های خواهری ، هم موضوع ژن و هم محتوای اون ها یکسانه (در مثال مورد نظر ، موضوع ژن ، یعنی اینکه اون ژن در مورد رنگ پوست بود . و محتوای ژن ، یعنی اینکه اون ژن سبب ایجاد چه رنگی می شد)

* هسته یاخته های پیکری زنان ، دو فام تن X و مردان ، یک فام تن X و یک فام تن Y دارند (فام تن های جنسی در تعیین جنسیت نقش دارند)

نکته : به یاد داشته باشید که بعضی یاخته ها مثل یاخته های ماهیچه اسکلتی ، چند هسته ای هستند (بنابراین بیش از دو فام تن جنسی دارند) و برخی نیز همانند گلبول های قرمز بالغ ، فاقد هسته و فام تن جنسی هستند

* یاخته های جنسی انسان ، تک لاد (n = 23) می باشند . در یک مجموعه فام تنی ، هیچ فام تنی با فام تن دیگر همتا نیست

* مراحلی که یک یاخته از پایان یک تقسیم تا پایان تقسیم بعدی می گذراند را چرخه یاخته ای می گویند . این چرخه ، شامل مراحل اینترفاز و تقسیم است . در یاخته های مختلف ، مدت این مراحل متفاوت است



اینترفاز ››› بیشتر عمر یاخته – رشد ، ساخت مواد مورد نیاز و انجام کار های معمول – شامل G_1 ، S و G_2

مرحله G_1 ››› رشد یاخته ها – زمان زیادی طول می کشد – یاخته ای که قرار باشد موقتا یا دائمی تقسیم نشود ، در این مرحله متوقف شده و وارد مرحله G_0 می شود مثل یاخته عصبی

مرحله S ››› دو برابر شدن دنای هسته

مرحله G_2 ››› مرحله کوتاه – یاخته آماده تقسیم می شود – ساخت پروتئین ها و عوامل مورد نیاز برای تقسیم یاخته افزایش پیدا می کنند

مرحله تقسیم یاخته ››› دو فرایند تقسیم هسته و تقسیم سیتوپلاسم انجام می شود (تقسیم هسته یا رشتمان است یا کاستمان)

نکته : رشد یاخته در اینترفاز انجام می‌شود اما هم مرحله اینترفاز و هم مرحله تقسیم، هر دو می‌توانند به رشد بافت و اندام منجر شوند

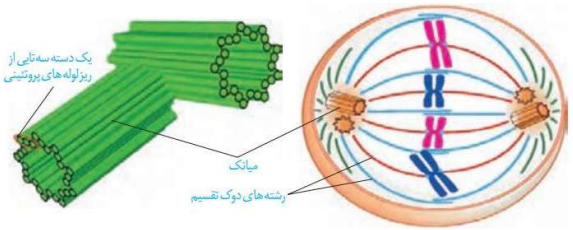
نکته : در یاخته های مریستمی و مغز استخوان ، اینترفاز کوتاه است ! اما دقت کنید باز هم این یاخته ها مانند هر یاخته‌ی دیگری بیشتر عمر خود را در مرحله اینترفاز به سر می برند

* در تقسیم رشتمان (میتوز) ، ماده ژنتیک که در مرحله S همانندسازی شده بود ، تقسیم شده و به مقدار مساوی به یاخته های جدید می رسد. رشتمان فرایندی پیوسته است.

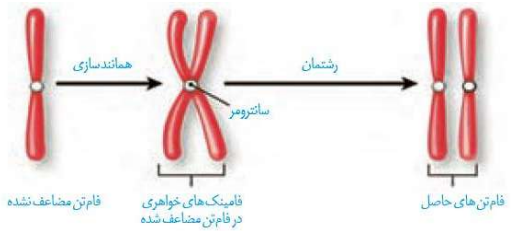
* دوک تقسیم ، مجموعه ای از ریزلوله های پروتئینی است که هنگام تقسیم، پدیدار و به سانترومر فام تن متصل می شود. با کوتاه شدن رشته های دوک متصل به سانترومر، فام تن ها از هم جدا می شوند و به قطبین می روند

* در یاخته های جانوری، میانک ها (سانتریول ها) ساخته شدن رشته های دوک را سازمان می دهند . هر میانک ساختاری استوانه ای شکل است. در یاخته دو عدد میانک به صورت عمود بر هم وجود دارند که در اینترفاز ، برای تقسیم یاخته ، دو برابر می شوند.

* میانک ها استوانه های توخالی هستند که از تجمع دسته هایی از لوله های کوچک پروتئینی ساخته می شوند (۹ دسته‌ی ۳ تایی)



دقت کنید که هم خود میانک ، توخالی هستش و هم لوله‌هایی که تشکیل دهنده‌ی آن توخالی هستن !



مرحله	ویژگی ها
پروفاز	رشته های فامینه فشرده ، ضخیم و کوتاه تر می شوند – دوک تقسیم بین میانک ها تشکیل می شود– پوشش هسته شروع به تخریب می کند
پرومتافاز	پوشش هسته و شبکه آندوپلاسمی تجزیه می شوند – سانترومر فام تن ها به رشته های دوک متصل می شوند
متافاز	فام تن ها بیشترین فشردگی را پیدا می کنند – فام تن ها در وسط یاخته ردیف می شوند
آنافاز	فامینک ها از هم جدا می شوند – فامینک ها از هم فاصله می گیرند و فام‌تن‌ها که اکنون تک فامینکی هستند، سمت قطبین یاخته کشیده می‌شوند
تلوفاز	رشته های دوک تخریب شده و فام تن ها شروع به باز شدن می کنند تا به صورت فامینه درآیند . پوشش هسته نیز مجددا تشکیل می شود . در پایان تلوفاز ، یاخته دو هسته‌ی مشابه دارد

نکته : تجزیه پوشش هسته در پروفاز شروع و در پرومتافاز تکمیل می شود

نکته مهم : جدا شدن فامینک ها از هم در آنافاز ، بر اثر تجزیه پروتئین اتصالی آن ها توسط نوعی آنزیم است . رشته های دوک ، در جدا شدن آن ها هیچ نقشی ندارند ! بلکه نقش این رشته ها (که همان فاصله گرفتن فامینک هاست) ، پس از جدا شدن فامینک ها انجام می شود

نکته : رشته های دوک در پروفاز تشکیل می شوند اما در پرومتافاز به سانترومر متصل می شوند . البته فقط برخی از رشته های دوک به سانترومر متصل می شوند نه همه‌ی آن‌ها ! (به هر سانترومر دو رشته دوک متصل می شود)

نکته : برخی رشته های دوک تا اواسط یاخته امتداد می یابند

نکته : در مرحله آنافاز ، تعداد فام تن ها (نه مولکول های دنا !) دو برابر می شود . همچنین در مرحله S اینترفاز ، تعداد فام تن ها ثابت مانده و تعداد مولکول های دنا دو برابر می شود

نکته : در مرحله آنافاز ، یاخته کشیده می شود

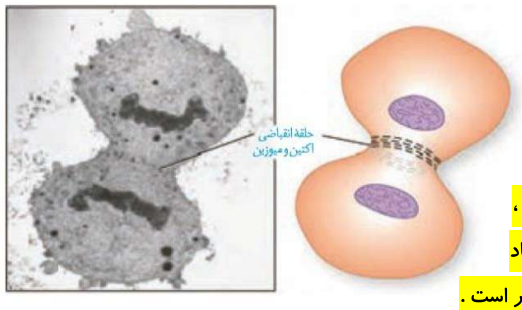
رمت کنید در هیچ یک از مراحل رشتمان ، تعداد خام تن ها کم نمیشه (برعکس کاستمان) اما میتونیم بگیم که در مرحله تلوفاز ، تعداد خام تن ها نسبت به مرحله قبل کاهش پیدا میکنه (در مرحله قبل ، ۹۲ تا خام تن داخل یک یاخته داشتیم ولی در تلوفاز ، داخل هر هسته جدید ۴۶ تا داریم)

* پس از رشتمان ، اجزای یاخته بین دو سیتوپلاسم تقسیم می شوند ؛ با تقسیم سیتوپلاسم ، دو یاخته جدید تشکیل می شود .

– تقسیم سیتوپلاسم در یاخته های جانوری :

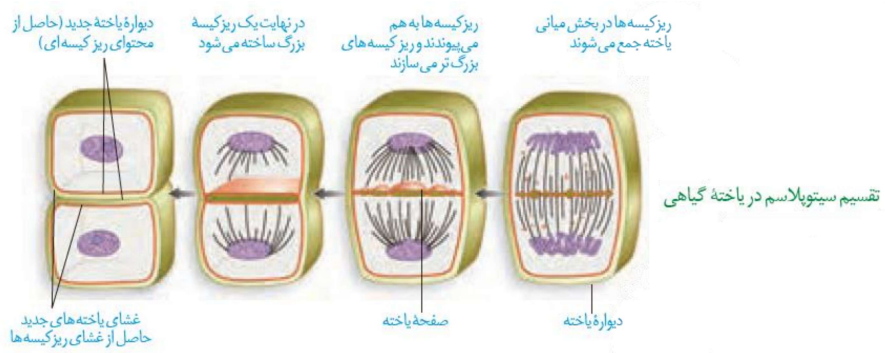
تقسیم سیتوپلاسم با ایجاد فرورفتگی در یاخته شروع می شود . این فرورفتگی حاصل انقباض حلقه ای از جنس اکتین و میوزین است که مانند کمربندی در سیتوپلاسم قرار می گیرد و به غشا متصل است . با تنگ شدن این حلقه انقباضی ، در نهایت دو یاخته از هم جدا می شوند

نکته : گاهی اوقات ، تقسیم هایی مشاهده می شود که یاخته های حاصل ، هم اندازه نیستند . در این گونه تقسیم ها ، فرورفتگی در وسط غشا ایجاد نمی شود . بلکه فرورفتگی ، نزدیک به یاخته‌ای خواهد بود که کوچک تر است .



– تقسیم سیتوپلاسم در یاخته های گیاهی : در این یاخته ها حلقه انقباضی تشکیل نمی شود . ابتدا صفحه یاخته ای در محل تشکیل دیواره جدید ، ایجاد می شود . صفحه یاخته ای حاصل تجمع و به هم پیوستن ریزکیسه های دستگاه گلژی است . این ریزکیسه ها ، دارای پیش‌سازهای تیغه میانی و دیواره یاخته اند . با اتصال این صفحه به دیواره یاخته مادری ، دو یاخته جدید از هم جدا می شوند .

* ساختار هایی مانند لان و پلاسمودسم، در هنگام تشکیل دیواره جدید پایه گذاری می شوند



نکته : ریز کیسه ها به کمک رشته های دوک (بدون نیاز به میانک !!) به جایگاه میانه صفحه یاخته ای می رسند

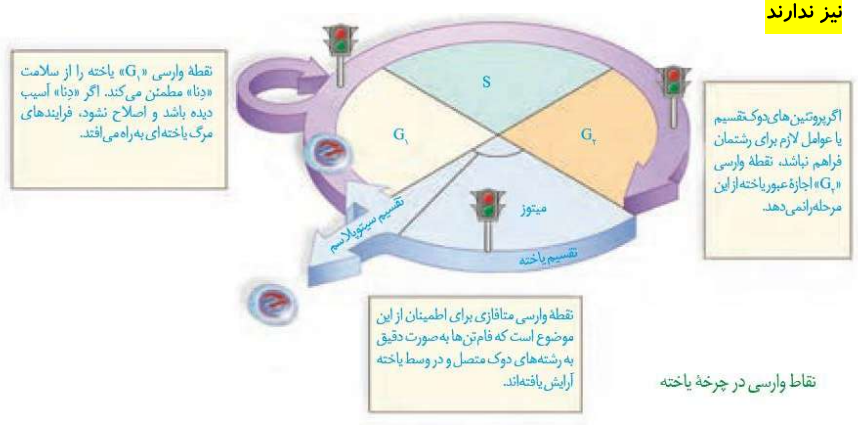
رمت کنید تیغه میانی اولین لایه‌ای هستش که بین دو یاخته گیاهی تشکیل میشه و هر دو یاخته مجاور در تشکیل اون دخالت دارن . سپس لایه (های) دیواره های بعدی توسط دستگاه گلژی خاص همون سمت تشکیل میشه . بعدش دیگه حباب حباب ، کاکا ...

* برخی یاخته های بدن جانداران می توانند دائما تقسیم شوند (مانند یاخته های بنیادی مغز استخوان و یاخته های مریستمی گیاهان) . برخی یاخته ها نیز به ندرت تقسیم می شوند (مانند یاخته‌های عصبی)

* یاخته ها در پاسخ به بعضی عوامل محیطی و مواد شیمیایی ، سرعت تقسیم خود را تنظیم می کنند . انواعی از پروتئین وجود دارند که باعث تقسیم یاخته می شوند . انواعی پروتئین نیز وجود دارند که مانع از تقسیم یاخته می شوند.

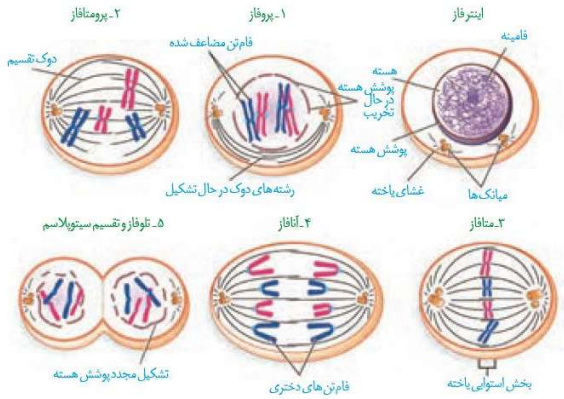
* در چرخه یاخته ای ، چند نقطه وارسی وجود دارد . نقاط وارسی مراحلی از چرخه‌ی یاخته اند که به آن اطمینان می دهند که مرحله قبل کامل شده است و عوامل لازم برای مرحله بعد آماده اند.

نکته : باکتری ها فاقد تقسیم های رشتمان و کاستمان هستند و همچنین نقاط وارسی و چرخه یاخته ای نیز ندارند



نقاط وارسی در چرخهٔ یاخته

* یاخته ها با تقسیم ، افزایش و با مرگ ، کاهش می یابند . اگر تعادل بین تقسیم یاخته و مرگ یاخته ها به هم بخورد ، نتیجه می تواند (قطعی نیست !) ایجاد یک تومور باشد . تومور، توده ای است که در اثر تقسیمات تنظیم نشده ایجاد می شود

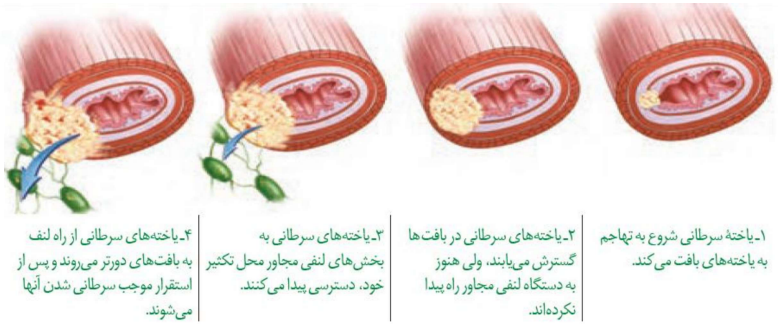


– تومور خوش‌خیم : رشد کمی دارد – یاخته های آن در جای خود می مانند – معمولا آنقدر بزرگ نمی شود که به بافت های مجاور خود آسیب بزند – لیپوما یک تومور خوش‌خیم است که در افراد بالغ متداول است (در این تومور ، یاخته های چربی تکثیر شده و توده یاخته ایجاد می کنند)

– تومور بدخیم (سرطان) : به بافت های مجاور حمله می کند – توانایی دگرنشینی (متاستاز) دارد ؛ یعنی می تواند یاخته هایی از آن جدا شده و همراه با جریان خون یا به ویژه لنف ،به نواحی دیگر بدن بروند ، در آنجا مستقر شوند و رشد کنند – علت اصلی سرطان ، بعضی تغییرات در ماده ژنتیکی یاخته است که باعث می شود چرخه یاخته از کنترل خارج شود

ملانوما : نوعی تومور بدخیم یاخته های رنگدانه دار پوست

* روش های متعددی برای تشخیص و درمان سرطان ها وجود دارد. در روش بافت برداری، تمام یا بخشی از بافت سرطانی یا مشکوک به سرطان برداشته می شود . آزمایش خون به این شناسایی کمک می کند



روش های رایج درمان سرطان :

– جراحی

– شیمی درمانی : با استفاده از داروها باعث سرکوب تقسیم یاخته ها در همه‌ی بدن می شود .

– پرتو درمانی : یاخته هایی که به سرعت تقسیم می شوند ، به طور مستقیم تحت تأثیر پرتوهای قوی قرار می گیرند

* شیمی درمانی می تواند به یاخته های مغز استخوان ، پیاز مو و پوشش دستگاه گوارش نیز آسیب برساند ؛ مرگ این یاخته ها از عوارض جانبی شیمی درمانی است که باعث ریزش مو ، تهوع و خستگی می شود (گاهی حتی فرد مجبور به پیوند مغز استخوان می شود !)

* وراثت و محیط ، هر دو در ایجاد سرطان نقش دارند

* ژن های زیادی در بروز سرطان موثرند . علت شیوع بیشترِ بعضی سرطان ها (اینجا رو کتاب یکم مبهم گفته . منظورش زیاد بودنِ شیوع بعضی سرطان هاست) در بعضی جوامع ، همین مسئله است .

* عوامل محیطی هم در بروز سرطان مؤثرند . پرتوهای فرابنفش ، بعضی آلاینده های محیطی و دود خودروها به ساختار دنا آسیب می زنند . سایر پرتوها و مواد شیمیایی سرطان زا ، موادغذایی دودی شده مثل گوشت و ماهی دودی ، بعضی ویروس ها ، قرص های ضد بارداری ، نوشیدنی های الکلی و دخانیات از عوامل مهم سرطان زایی اند

* مرگ یاخته ها می تواند تصادفی باشد (مثلا در بریدگی) . به این حالت بافت مردگی (نکروز) می گویند .

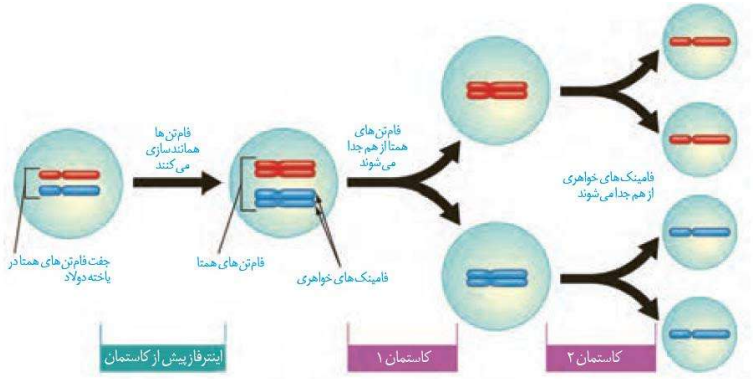
* برای وقوع مرگ برنامه ریزی شده ، در چند ثانیه پروتئین های تخریب کننده در یاخته شروع به تجزیه اجزای یاخته و مرگ آن می کنند . مثال های مرگ برنامه ریزی شده :

۱– حذف یاخته های پیر یا آسیب دیده ، مانند آنچه در آفتاب سوختگی اتفاق می افتد

۲– حذف یاخته‌های اضافی از بخش‌های عملکردی. مانند پرده‌های بین انگشتان پا در برخی پرندگان

* در تولیدمثل جنسی، دو یاخته جنسی (گامت) با هم ترکیب و هسته‌های آن‌ها با هم ادغام می‌شوند. یاخته های موثر در تولید مثل جنسی ، با نوعی تقسیم کاهشی به نام کاستمان ایجاد می شوند

* کاستمان از دو مرحله کلی کاستمان ۱ و ۲ تشکیل شده است ؛ پس از تقسیم هسته نیز تقسیم سیتوپلاسم انجام می شود



مراحل کاستمان ۱	ویژگی ها
پروفاز ۱	فام تن های همتا فشرده شده ، از طول در کنار هم قرار می گیرند و چهارتایه (تتراد) تشکیل می شود – رشته های دوک به سانترومرهای چهارتایه متصل می شوند
متافاز ۱	چهارتایه ها در استوای یاخته ، روی رشته های دوک قرار می گیرند
آنافاز ۱	فام تن های همتا (نه فامینک ها !!) از هم جدا شده و به سمت قطبین یاخته حرکت می کنند
تلوفاز ۱	با رسیدن فام تن ها به دو سوی یاخته ، پوشش هسته دوباره تشکیل می شود

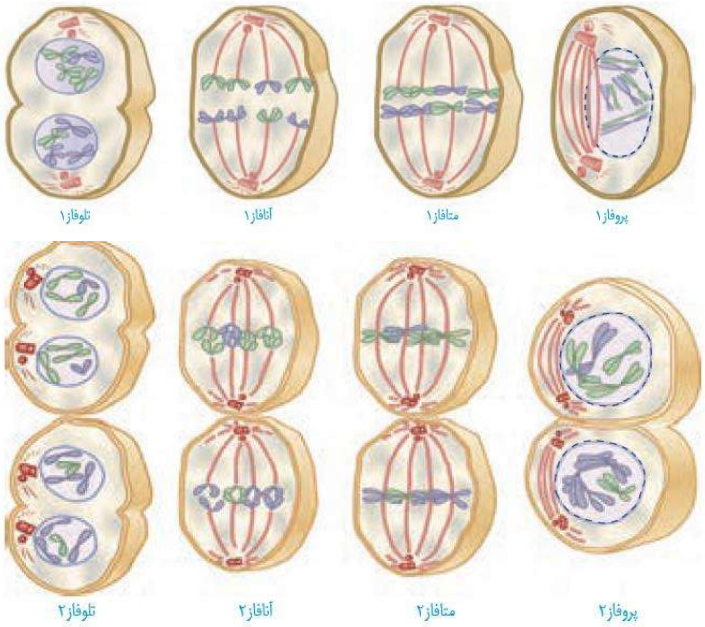
* معمولا در پایان کاستمان ۱، تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌شود. نتیجه کاستمان ۱ ایجاد دو یاخته است

نکته : در آنافاز ۱ ، عدد فام تنی برخلاف آنافاز ۲ و آنافاز رشتمان ، تغییر می کند (نصف می شود) !

نکته : در مراحل کاستمان ۱ ، به هر سانترومر فقط یک دوک تقسیم متصل است

* کاستمان ۲ : در این مرحله یاخته های حاصل از کاستمان ۱ ، مراحل پروفاز ۲ ، متافاز ۲ ، آنافاز ۲ و تلوفاز ۲ را می گذرانند .

* وقایع کاستمان ۲ بسیار شبیه رشتمان است و در پایان آن ، از هر یاخته دو یاخته شبیه هم ایجاد می شود که نصف فام تن های یاخته های مادر را دارند. این فام‌تن‌ها مضاعف نیستند . * در پایان کاستمان ۲، تقسیم سیتوپلاسم انجام می‌شود. در مجموع و با پایان تقسیم کاستمان، از یک یاخته 2n ، چهار یاخته n فام تنی حاصل می شود.



نکته : در تلوفاز ۱ ، تعداد مولکول های دنا در هر هسته برابر با یاخته ی اولیه (قبل از مرحله S . یعنی قبل از همانندسازی) است اما عدد کروموزمی آن نصف یاخته ی اولیه است

نکته : در متافاز ۱ ، ترکیب گامت ها مشخص می شود

نکته مهم : در همه‌ی تلوفاز ها اعم از تلوفاز رشتمان و همچنین تلوفاز ۱ و ۲ کاستمان ، عدد فام تنی هر هسته نسبت به یاخته مرحله قبل (آنافاز) کاهش می یابد

(این نکته رو خوب به یاد داشته باشین و به عقش فکر کنین تا کل تغییرات عدد فام تنی در مراحل تقسیم ، باهاش مرور شه براتون ☺)

نکته : تنها در تلوفاز ۱ کاستمان ، عدد فام تنی نسبت به یاخته اولیه کاهش می یابد نه سایر تلوفازها !

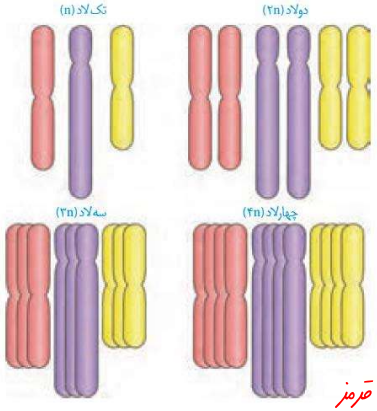
دقت کنید تقسیم رشتمان در ایجاد نسل بعد یاخته دخالت داره (اما کاستمان ، در ایجاد نسل بعد جاندار نقش داره) . همچنین در جاندارانی با تولید مثل غیرجنسی نیز یاخته‌های حاصل از تقسیم رشتمان میتونن در ایجاد نسل بعدی جاندار دخالت داشته باشن

* گرچه تقسیم یاخته ای با دقت زیاد انجام می شود ، ولی به ندرت ممکن است اشتباهاتی در روند تقسیم رخ دهد. اشتباه در تقسیم ، می تواند هم در رشتمان و هم در کاستمان رخ دهد . ولی این اشتباه ، در کاستمان با اهمیت تر است ؛ زیرا یاخته های حاصل از کاستمان ، مستقیما نسل بعدی جاندار را ایجاد می کنند .

– چند لادی (پلی پلوئیدی) شدن : اگر در مرحله آنافاز همه فام تن ها بدون اینکه از هم جدا شوند به یک یاخته بروند ، آن یاخته دو برابر فام تن خواهد داشت و یاخته دیگر فاقد فام تن خواهد بود.

در آزمایشگاه می توان با تخریب رشته های دوک تقسیم ، این وضعیت را ایجاد کرد (این قسمت می‌تونه بعنوان صورت سوال مطرح بشه)

* به یاخته یا جانداری که یاخته‌های آن بیش از دومجموعه فام‌تن داشته باشند، چندلاد گفته می‌شود؛ مثلاً گندم زراعی 6n و موز 3n است



– با هم ماندن فام تن ها : در این حالت ، یک یا چند فام تن در مرحله آنافاز (رشتمان و کاستمان) از هم جدا نمی شوند . بنابراین در یاخته های حاصل ، کاهش یا افزایش یک یا چند فام تن (اما در چند لادی شدن ، همه‌ی فام تن ها مطرح بودند) مشاهده می شود . نمونه این حالت ، نشانگان داون است . افراد مبتلا به داون ، در یاخته های پیکری خود ۴۷ فام تن دارند . فام تن اضافی مربوط به شماره ۲۱ است ؛ یعنی یاخته های پیکری این افراد ۳ فام تن شماره ۲۱ دارند (البته نه همه‌ی یاخته‌ها ! گلبول های قرمز و ماهیچه اسکلتی رو یادتون میاد ؟). علت بروز این حالت آن است که یکی از یاخته های جنسیِ ایجادکننده‌ی فرد ، به جای یک فام تن شماره ۲۱ ، دارای دو فام تن ۲۱ بوده است

* بالابودن سنّ مادران در هنگام بارداری از عوامل مهم بروز این بیماری است؛ زیرا با افزایش سنّ مادر احتمال خطای کاستمانی در تشکیل یاخته های جنسی وی بیشتر می شود . عوامل محیطی نیز می توانند موجب اختلال در تقسیم کاستمان شوند . دخانیات ، الکل ، مجاورت با پرتوهای مضر و آلودگی ها نیز می توانند در روند جدا شدن فام تن ها در هر دو جنس ، اختلال ایجاد کنند .

نکته : در صورت خطا در کاستمان ۱ ، هیچ کدام از گامت ها طبیعی نخواهند بود

نکته : در صورت خطا در کاستمان ۲ ، دو گامت غیر طبیعی و دوگامت طبیعی حاصل می شود (البته در صورتی که در انتهای کاستمان جاندار ، ۴ گامت حاصل شود)

با تشکر فراوان از دکتر نوید درویش پور بابت همکاری در انجام این پروژه ♡