



تایپ: کامران فیروزجاهی، ماهان موسوی، درسا موسوی نژاد، نازنین فاطمه موسوی، ایلینا مهری زاده، سارا طهماسبی

ویراستار: کامران فیروزجاهی

قالب گذار: سید علی سینا صدقی تبار



Tehran University of Medical Science

مبانی بافت شناسی

بافت شناسی یا هیستولوژی در تعریف علمی به معنای بررسی میکروسکوپی سلول های تشکیل دهنده اندام های بدن است . واحد سازنده بدن انسان سلول است . میلیارد ها سلول بدن انسان را تشکیل میدهند . کلیه سلول هایی که در ۳ صفت زیر مشابه هم باشند؛ مجموعاً بافت نام میگیرند:

۱-اندازه ۲-شکل ۳-عملکرد

برای مثال بافت لب ؛ بافت معده ؛ بافت روده کوچک ؛ بافت روده بزرگ ؛ بافت مقعد و..... به تمام این مجموعه بافت ها میگویند دستگاه . به بررسی همه این بافت ها میگویند بافت شناسی دستگاه گوارش . histology of the gastrointestinal tract

به همه این دستگاه ها روی هم که شامل دستگاه عصبی ؛ دستگاه حرکتی ؛ دستگاه گوارش و بدن (body) میگویند .

practical study of cells

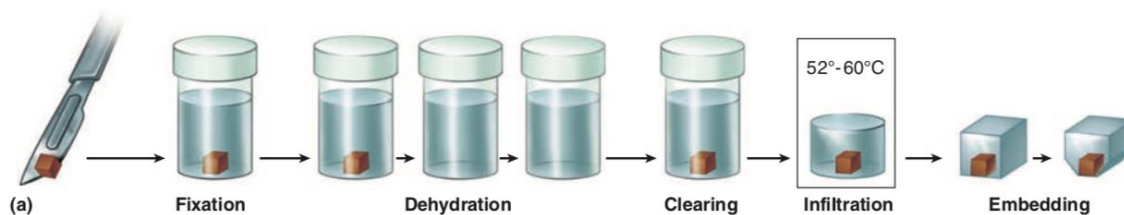
•• نمونه برداری:

نمونه برداری (Prelevment) لازمه بررسی میکروسکوپی و هیستولوژی است . نمونه برداری از روی بدن انسان به ۲ شکل انجام می شود:

۱- بیوپسی (Biopsy): برای مثال در فردی که زنده باشد و بدنش به دارو پاسخ ندهد ؛ از روی نمونه های زیستی مثلاً پوست ؛ جوش ها و سایر بافت های بدن نمونه ای توسط یک متخصص پاتولوژیست تهیه میشود و به آسیب شناس ارائه میشود تا به داروساز یا فارماسیست تجویز دارو بکند . به این کار بیوپسی گفته میشود.



۲- آتوپسی (autopsy): در پزشکی قانونی از فردی که فوت کرده است ؟ پاتولوژیست پزشکی قانونی قطعه برداری میکند و علت مرگ را تحلیل میکند .



۱- فیکس کردن:

پس از نمونه برداری با وسایل مخصوص ؛ مثلاً نمونه از کبد به شکل مکعب و با اضلاع 5 میلی متر؛ آن را در محلول های فیکساتور (fixator) یا ثابت کننده قرار می دهیم تا آن را در هر حالت و اندازه ای ثابت نگه دارد. طبیعتاً نمونه دیگر فعالیت خاصی ندارد. پر استفاده ترین فیکساتور در کشور ایران همان الکل است . علاوه بر آن فرمالدهید؛ فرمالین و محلول بوآن (bouin solution) که از نفت استخراج می شوند نیز به عنوان فیکساتور مورد استفاده قرار می گیرند.

در صورتی که شرایط استفاده از مواد بالا وجود نداشته باشد فریزکردن و انجماد نیز میتوان به عنوان یک روش مورد استفاده قرار بگیرد.

۲- دهیدراسیون:

دانستیم که ۷۰ درصد سلول ها آب است. برای اینکه سلول در زیر میکروسکوپ قابل مشاهده باشد ؛ ابتدا آب را از درون سلول خارج میکنند . به این عمل آب گیری یا dehydration می گویند . این کار با قرار دادن نمونه در الکل ۷۰ درصد ؛ سپس ۸۰ درصد ؛ ۹۰ درصد و در نهایت ۱۰۰ درصد انجام می شود. چون آب به صورت یکدفعه ای نمیتواند از سلول خارج بشود. در مرحله آخر این نمونه به طور کامل آبگیری شده است .

۳- قالبگیری:

در مرحله بعد؛ برای برش در حد صدم میلی متر از نمونه؛ ابتدا باید قالبی از درون سلول ها تهیه کنیم. مانند عروسکی که در آن گچ ریخته شده و شکل آن عروسک را پیدا کرده است. به طور مشابه در نمونه برداری؛ از پارافین مذاب استفاده می کنیم تا به جای آب درون سلول های دهیدراته شده نفوذ کند و قالبی برای برش تولید کند. این نوع پارافین ها از نوع embedding در بازار فروخته می شوند. در واقع ابتدا به پارافین در دمای اتاق حرارت می دهیم تا ذوب شود و پس از ۲ ساعت قالب گیری در دمای آزمایشگاه و منجمد شدن آن سلول های بافت مورد نظر از آن خارج بشوند.

۴- برش:

سپس نمونه قالب گیری شده را وارد تیغ میکروتوم یا ریز بر می‌کنیم تا برش هایی در حد دهم میلی‌متر از نمونه ایجاد کند. برای مطالعه میکروسکوپی درجه آن بین 0.3° تا 0.5° میلی متر قرار می‌گیرد. برش دستگاه به شکل نوار و لایه لایه است. پس از برش آن ها را روی لام قرار می‌دهیم.



۵- تثبیت نمونه روی لام:

برای ثابت نگه داشتن نمونه بر روی لام از چسب بیولوژیک استفاده می‌کنیم. این چسب با هموژنیزه کردن سفیده تخم مرغ و رد کردن از صافی بدست می‌آید و محتوی آلبومین است. برای استفاده، چسب را با انگشت بر روی لام می‌کشیم و سپس نمونه را قرار می‌دهیم. گاهی اوقات برای چسبندگی تر شدن آن را در انکوباتور قرار می‌دهیم تا آن را با حرارت ضد عفونی بکند و با پختن چسب نمونه را به لام متصل کند.

۶- هیدراسیون:

برخلاف مرحله دوم عمل می‌کنیم؛ اول در الکل 100° قرار می‌دهیم؛ سپس در الکل 90° و سپس در 80° و سپس در 70° قرار می‌دهیم تا در مدت ۲ دقیقه آب وارد سلول ها بشود. برخلاف مرحله ۲ که ۲ ساعت بود چون در مرحله ۲ ابعاد مکعب ۵ میلی متر بود ولی اینجا با برش های میکروتوم ابعاد به 0.3° الی 0.5° میلی متر کاهش پیدا میکند.

۷- رنگ آمیزی:

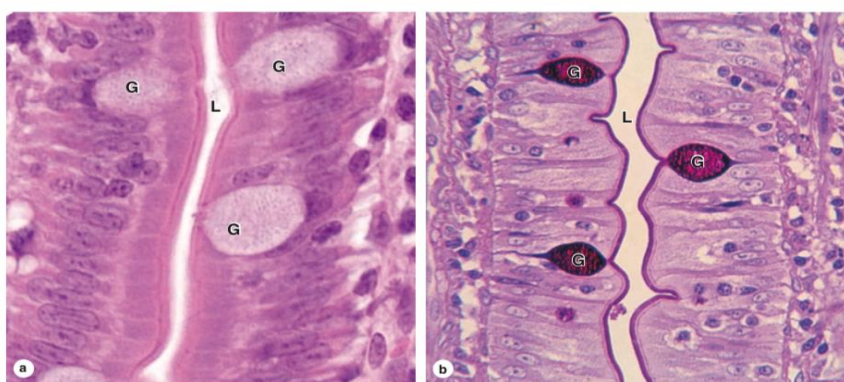
برای دیدن نمونه هیدراته شده بر زیر میکروسکوپ باید رنگ آمیزی (Staining) کنیم. مهم ترین نوع رنگ آمیزی رنگ آمیزی H&E (H stands for Hematoxylin and E stands for Eosin) نام دارد. هماتوکسیلین رنگی است که دارای PH قلیایی است و اصطلاحاً بازی محسوب می‌شود (در فضای سلول بار مثبت خالص دارد). ولی برخلاف آن اتوزین دارای PH اسیدی است (در فضای سلولی دارای بار خالص منفی است). می‌دانیم که فضای هسته سلول ها به دلیل داشتن اسید های نوکلئیک دارای خاصیت اسیدی است و بار منفی دارد. بنابراین این ساختار که اسیدی است با رنگ هایی رنگ می‌شود که اسیدوفیل باشند. رنگ های بازی اسیدوفیل هستند و بنابراین به علت بار های ناهمنام (هسته بار

منفی و رنگ بار مثبت دارد) هسته را رنگ آمیزی می کنند. همتوکسیلین هسته را به رنگ آبی متمایل به بنفش در می آورد. بنابراین می توانیم بگوییم که خود هسته هم بازوفیل است.

فیل (phil) در اصطلاح علمی به معنای دوست داشتن است برخلاف فوب (phobe) که به معنای گریختن است

در سیتوپلاسم پروتئین هایی وجود دارد که عامل های آمینی آزاد دارند و بنابراین چون بازی هستند در فضای سلول بار خالص مثبت دارند . پس به طور طبیعی با رنگ هایی اسیدی که در فضای سلول بار منفی دارند رنگ آمیزی میشوند. در واقع خود رنگ بازوفیل و خود فضای سیتوپلاسم اسیدوفیل است . رنگ اسیدی اتوزین به سیتوپلاسم رنگ قرمز متمایل به صورتی میدهد .

FIGURE 1-2 Hematoxylin and eosin (H&E) and periodic acid-Schiff (PAS) staining.



Micrographs of epithelium lining the small intestine, (a) stained with H&E, and (b) stained with the PAS reaction for glycoproteins. With H&E, basophilic cell nuclei are stained purple, while cytoplasm stains pink. Cell regions with abundant oligosaccharides on glycoproteins, such as the ends of the cells at the lumen (L) or the scattered mucus-secreting goblet cells (G), are poorly stained. With PAS, however, cell staining is most intense at the

lumen, where projecting microvilli have a prominent layer of glycoproteins at the lumen (L) and in the mucin-rich secretory granules of goblet cells. Cell surface glycoproteins and mucin are PAS-positive because of their high content of oligosaccharides and polysaccharides, respectively. The PAS-stained tissue was counterstained with hematoxylin to show the cell nuclei. (a. X400; b. X300)

ما باید تمام بافت شناسی را براساس این نوع ترکیب از رنگ آمیزی بررسی کنیم.

انواع دیگر رنگ آمیزی : رنگ آمیزی تریکروم ؛ PAS و رنگ آمیزی طلا و نقره

برای رنگ آمیزی به ۳ ظرف نیاز داریم . یک ظرف حاوی همتوکسیلین ؛ دیگری حاوی اتوزین و بین آنها ظرفی حاوی اسید الکل که حاوی ۵۰ درصد اسید هیدروکلریک اسید و ۵۰ درصد الکل است و رنگ های اضافی را از بین می برد. ابتدا نمونه را در ظرف حاوی همتوکسیلین قرار می دهیم. میزان زمانی که نمونه را در همتوکسیلین قرار می دهیم بستگی به میزان نو یا کهنه بودن نمونه دارد. هرچه کهنه تر باشد زمان قرار دادن نمونه کمتر است و بالعکس. سپس نمونه را در اسید الکل قرار می دهیم. بعد نیز آن را در ظرف حاوی اتوزین قرار می دهیم. اتوزین بدلیل اسیدی بودن نمونه ها را سریع رنگ آمیزی می کند.

۸- دهیداسیون:

در مرحله بعدی برای جلوگیری از فرسوده شدن و پوسیدن نمونه ها باید دوباره آبگیری کنیم . بنابراین دوباره دهیدریشن میکنیم . ابتدا از الکل ۷۰ تا ۱۰۰ در زمان ۱ تا ۲ دقیقه استفاده می‌کنم تا فقط رنگ صورتی سیتوپلاسم و رنگ آبی هسته باشد. برای شفاف سازی رنگ ها از محلول گزیلول استفاده میکنیم .

۹- قرار دادن لامل بر روی نمونه:

کاربرد آن در این است که از تماس لنز شیئی میکروسکوپ با نمونه جلوگیری می‌کند. لامل به معنای لام کوچک است. مانند طلق هستند. برای اتصال باید ابتدا به لام نمونه چسبی استفاده کنیم که از صمغ یک درخت به نام کانادا بالزام استخراج می‌شود و از چسب آلبومین هم شفاف تر است و آلودگی میکروبی ندارد.

۱۰- لیبیل گذاری:

ابتدا تاریخ تهیه لام را می‌نویسیم. سپس نوع رنگ آمیزی مثلا H&E. نمونه ای که از آن تهیه کردیم مثلا پانکراس و... که البته همه به زبان لاتین نوشته می‌شود.

ساختار میکروسکوپ

۱- Eyepiece: لنز قطعه چشمی که نمونه را به اندازه ۱۰ برابر بزرگتر می‌کند.

۲- Objective lens: لنز دیگر چون نزدیک شیء یا جسم ما هستند به آن لنز شیئی می‌گویند که روی صفحه مدور حرکتی دارد. لنز ۴ ؛ ۱۰ و ۴۰ دارد.

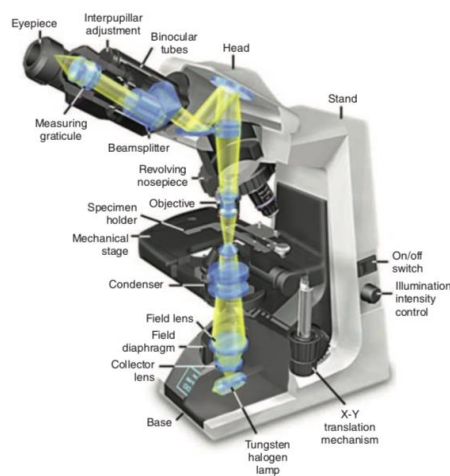
۳- Condenser lens: کندانسور که نور آمده از منبع نور را متمرکز می‌کند.

۴- specimen holder: صفحه نگه دارنده لام که هم حرکت افقی دارد هم حرکت عمودی دارد.

۵- x-y translocation mechanism: زیر لنز شیئی یک پیچ است که هم حرکت عمودی و هم حرکت افقی را ایجاد میکند

برای دیدن نمونه ها باید تنها شکل شناسی یا مورفولوژی را در نظر داشته باشیم یعنی دقت کنیم زیر میکروسکوپ هر بافت چه شکلی دارد و آن را به خاطر بسپاریم.

FIGURE 1-3 Components and light path of a bright-field microscope.



۶- پیچ میکرومتر و ماکرومتر: لنز ۴ را با ماکرومتر تنظیم میکنیم و لنز ۱۰ و ۴۰ را با میکرومتر تنظیم میکنیم.

۷- دید افراد با هم فرق میکند؛ بنابراین باید نور لامپ سرچشمه را تنظیم کنیم illumination intensity control تا برای دیدن جزئیات چشم ما با آنها سازش پیدا کند. اگر فرد عینکی باشد بهتر است با همان عینک نور را تنظیم کرده و نمونه را دیده و سپس ادامه مراحل را هم با عینک به پیش ببریم.

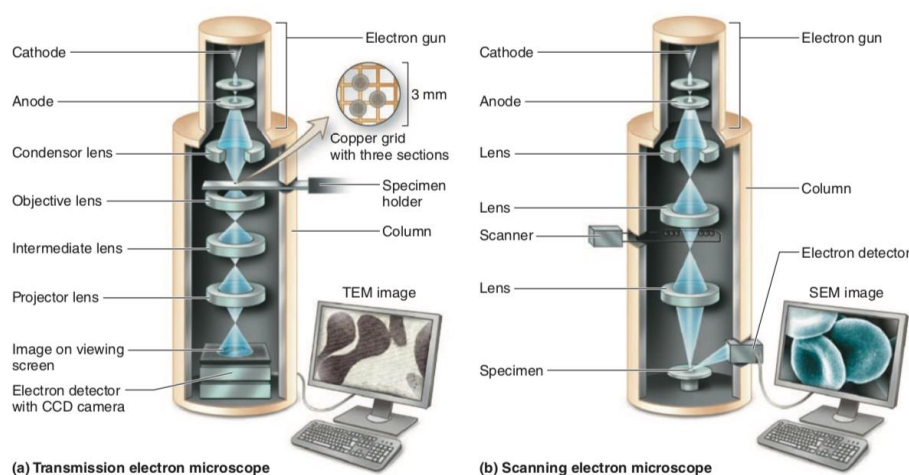
نکته برای کلاس های عملی:

توجه داشته باشید به محض تمام شدن کار باید میکروسکوپ را خاموش کنیم چون با روشن بودن آن حرارت تولید و بر سلامت ما اثر منفی میگذارد و باعث تضعیف ماکولای شبکیه میشود

انواع میکروسکوپ

میکروسکوپ نوری تصویر را ماکسیمم ۱۴۰۰ برابر بزرگتر میکند. اما در میکروسکوپ الکترونی میتواند تا ۱۰۰۰۰۰ برابر بزرگتر کند. روش تهیه نمونه فرق میکند. این دستگاه یک دستگاه

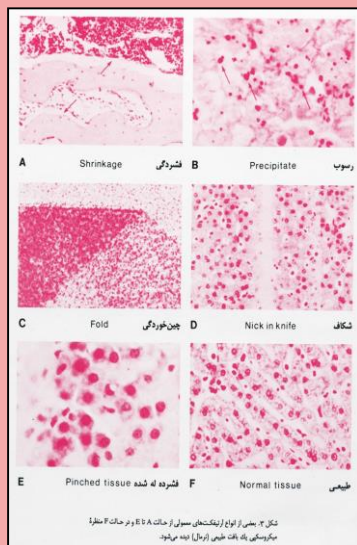
FIGURE 1-8 Electron microscopes.



استراتژیک است و به هر کشوری نمیدهند. این میتواند سلول را ۱۰۰۰۰۰ برابر بزرگتر کند.

اگر میکروسکوپی باشد که درون سلول را نشان بدهد به آن transmission electron microscope یا به اختصار TEM میگویند. ولی اگر سطح آن را صرفاً ۱۰۰۰۰۰ برابر بزرگتر کند به آن scanning electron microscope یا به اختصار SEM میگویند.

در نمونه اسکنینگ رنگ آمیزی مانند رادیولوژی سیاه و سفید است. اگر نور از قسمتی از نمونه عبور نکند آن قسمت به رنگ سیاه و اگر عبور کند آن قسمت به رنگ سفید دیده میشود.

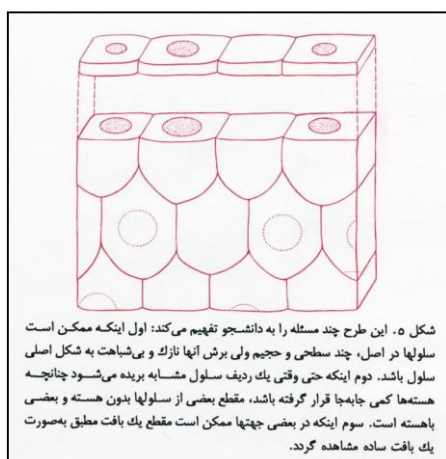


نکته: گاهی اوقات در طول تهیه نمونه ممکن است اختلالاتی بوجود بیاید مثلاً رنگ روی نمونه رسوب کند یا هنگام برش نمونه پاره شده باشد. یا نمونه خوب رنگ نگرفته باشد. به تمام این وضعیت های بد تهیه نمونه artifact میگویند. اهمیت ارتیفکت این است که در هنگام مشاهده لام نباید به دنبال آن برویم

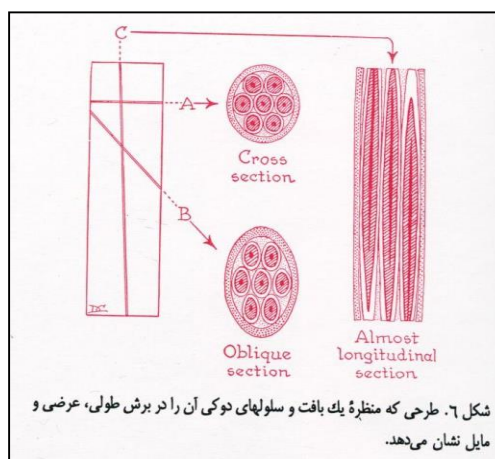
انواع برش ها

حین برش ممکن است تیغ میکروتوم از کنار سلول رد شود و در زیر میکروسکوپ هسته دیده نشود. بنابراین اگر هسته ای در زیر میکروسکوپ دیده نشود دلیلی بر این نیست که سلول در ابتدا هسته نداشته است.

۱- برش عمودی ۲- برش افقی ۳- برش مایل ۴- برشی که از هسته عبور میکند ۵- برشی که از کنار سلول عبور میکند



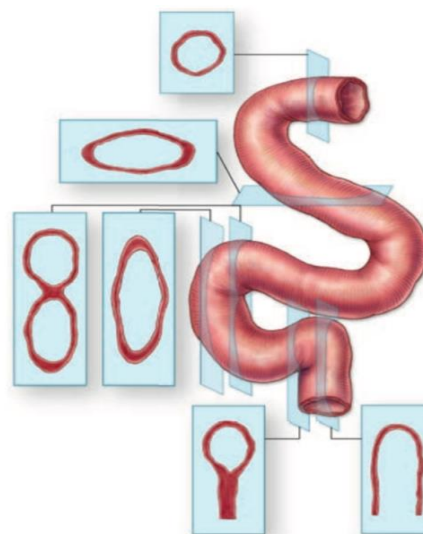
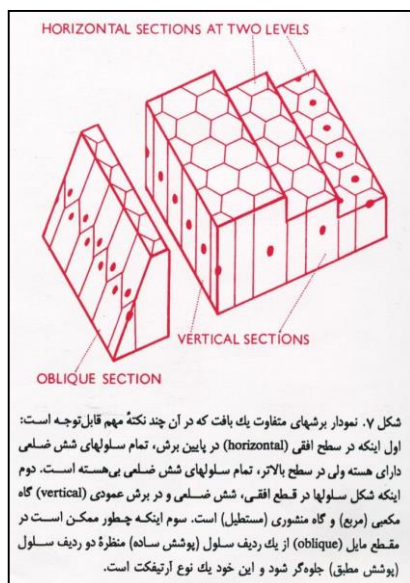
شکل ۵. این طرح چند مسئله را به دانشجو تفهیم می کند: اول اینکه ممکن است سلولها در اصل، چند سطحی و حجیم ولی برش آنها نازک و بی شباهت به شکل اصلی سلول باشد. دوم اینکه حتی وقتی یک ردیف سلول مشابه بریده می شود چنانچه هسته ها کمی جابه جا قرار گرفته باشد، مقطع بعضی از سلولها بدون هسته و بعضی پاهسته است. سوم اینکه در بعضی چتها ممکن است مقطع یک بافت مطابق به صورت یک بافت ساده مشاهده گردد.



شکل ۶. طرحی که منظره یک بافت و سلولهای دوکی آن را در برش طولی، عرضی و مایل نشان می دهد.



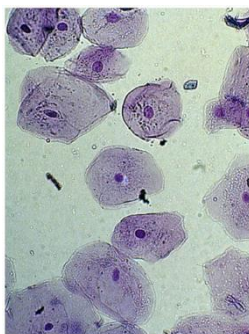
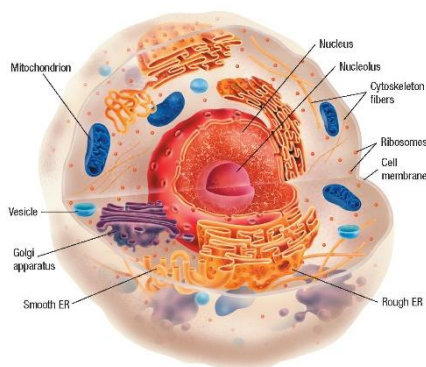
نکته: برای درک درست تصویر باید انواع این برش ها را با هم مطابقت بدهیم . نوع برش شکل های متفاوتی در سلول ها ایجاد می کند.



سلول

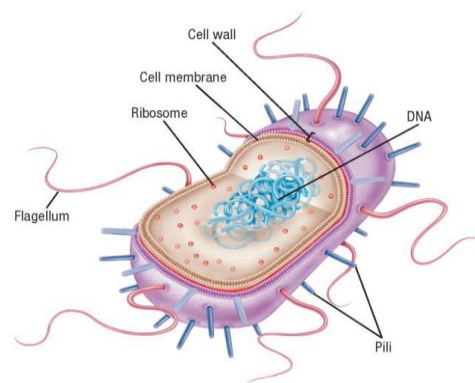
سلول ها در ابتدای تکامل پروکاریوتیک بودند ولی سپس هسته در آنها شکل گرفت و سلول های یوکاریوتیک به وجود آمدند. به طور کلی سلول از دو قسمت تشکیل شده:

Animal cell



۱- ارگانل (organelle) اندامک

۲- انکلوژیون (شامل چربی پروتئین و کربوهیدرات ها)



بررسی انواع سلول ها از لحاظ طول عمر

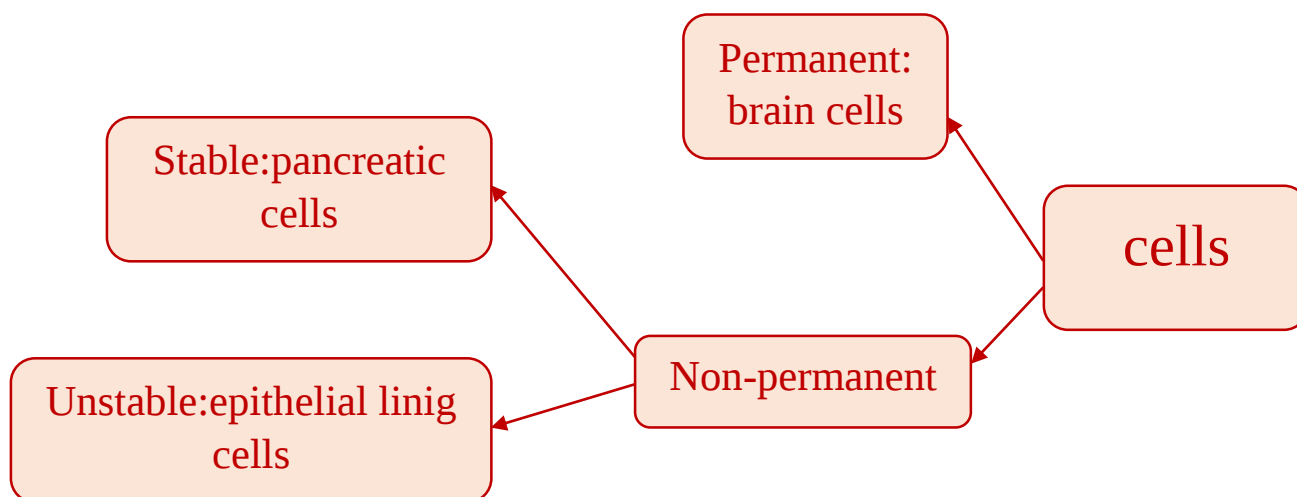
perm anent سلول های ماندگار:

مانند سلول های قرنیه چشم و نورون های مغز که قابل انتقال از بدن فردی غیرزنده به فرد دیگر است (البته در صورتی که خود اندام موردنظر آسیب ندیده باشد) یا سلول های قلبی (میوسیت) که قابل پیوند از فردی مرده به فرد دیگر هستند. باید در نظر داشته باشیم که اگر سلول های عصبی یا میوسیت ها بمیرند دیگر قابل جایگزینی نیستند. تقریبا میتوانیم بگوییم کل بافت همبند شامل خون و استخوان ها در این دسته قرار میگیرند.

:non-permanent

ماندگار نیستند و از بین میروند. این سلول ها خود دو دسته هستند:

- ۱- پایدار stable: مثلا سلول های پانکراس که در دیابت آسیب میبینند و در صورت قطع عامل آسیب رسان قابلیت revise یا برگشت دارند. مثال های دیگر عقده های لنفاوی، پستان ها و لوزه ها هستند.
- ۲- ناپایدار unstable: سلول هایی که ۴۸ تا ۷۲ ساعت میتوانند زنده باشند . مثلا سلول های بافت پوششی مخاط ها، مخاط روده، زبان، مری، روده، مجاری ترشحاتی عرق و سیستم تولید مثلی خارجی. پوست هم مثال دیگری است که هر ۱۹ تا ۳۵ روز قابلیت تجدید دارد. در واقع سلول های مرده از سطح پوست کنده و سلول های جدیدی جای آنها را میگیرند. این ریزش در افراد جوان بیشتر از افراد پیرتر است.



در ادامه به مورفولوژی ارگانل ها خواهیم پرداخت.

به جز هسته و غشای سیتوپلاسمی سایر ارگانل ها فقط با روش TEM (نوعی میکروسکوپ الکترونی) قابل مشاهده هستند.

تعریف: ارگانل ها ذراتی هستند که دارای حیات هستند. متقابل با آن انکلوژیون ها ذراتی هستند که حیات ندارند ولی برای حیات مکمل و ضروری هستند؛ مانند مولکول اکسیژن.

ارگانل ها به ۲ دسته تقسیم میشوند :

۱- با غشا

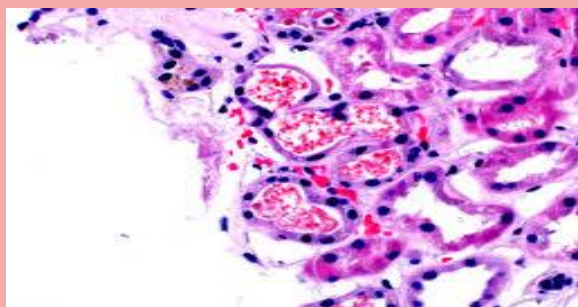
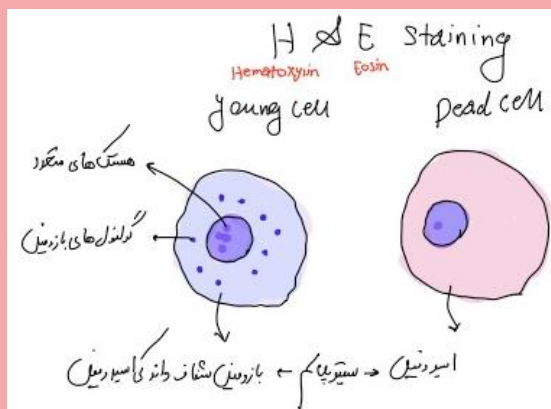
۲- بدون غشا (عناصر سائتواسکلتال (cytoskeletal) نیز نامیده می‌شوند که این عناصر اساس شکل دادن به سلول هستند).

اندامک های غشا دار هم دو دسته هستند یا تک لایه ای (unimembrane) یا دولایه ای (bimembrane).

در روش رنگ آمیزی H&E گاهی اوقات در سیتوپلاسم زنده دانه هایی با رنگ بنفش می بینیم که درواقع بازوفیل هستند. این دانه ها گرانول نام دارند. نمونه دیگر بازوفیل هسته هست که بسیار بزرگتر از دانه های ریز دیگر (گرانول) دیده می شود.

سلول های زنده سیتوپلاسمی با خاصیت بازوفیلی کم رنگ و کمی اسیدوفیل دارند ولی سلول های مرده کاملاً خاصیت اسیدوفیلی دارند. بنابراین سیتوپلاسم سلول های زنده به رنگ آبی کم رنگ و سیتوپلاسم سلول های مرده به رنگ صورتی دیده میشوند.

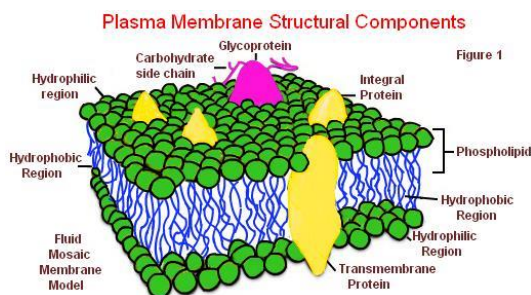
شکل هسته ها زیر میکروسکوپ براساس نوع برش و نحوه قرارگیری سلول ها نسبت به هم ممکن است متفاوت دیده شوند.



بررسی جامع ارگانل ها

۱- غشای سلولی (cell membrane):

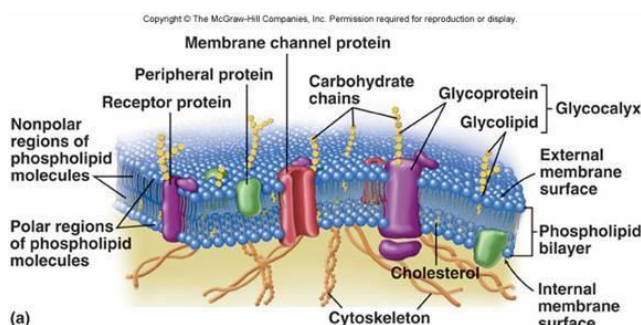
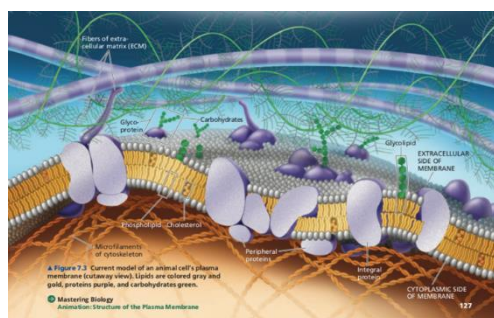
از دولایه لیپیدی (Lipid bilayer) تشکیل شده است. در بین این دو لایه، یک لایه پروتئین قرار گرفته . خود پروتئین های این یک لایه به ۲ دسته تقسیم میشوند:



۱- peripheral protein (در شکل مشاهده می کنید که

عرض غشا را طی نکرده است)

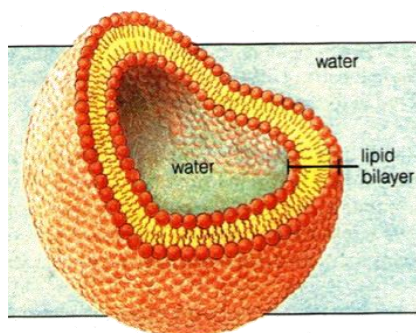
۲- integral protein: این دسته از پروتئین ها قابلیت حرکتی دارند و بین ۲ لایه حرکت می کنند. این حرکت باعث motility (قابلیت حرکت) غشای سلولی می شود.



به طور کلی سه فرایند جذب از طریق غشا با همراهی پروتئین های غشایی داریم:

۱- فاگوسیتوز: اگر این جذب به صورت جذب ذرات بزرگ و غیرمحللول باشد به آن phagocytosis می گویند

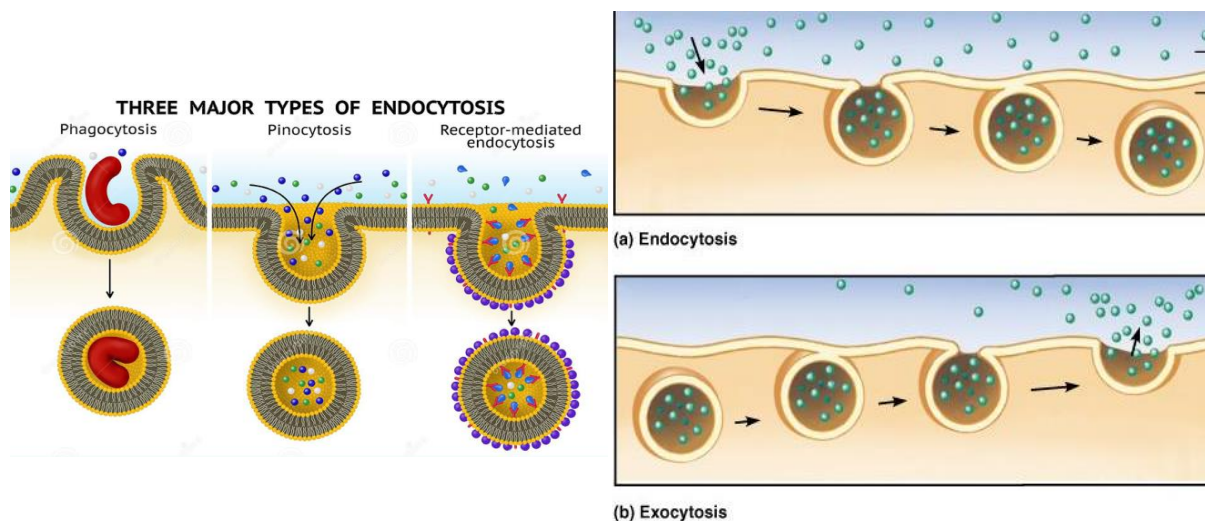
۲- پینوسیتوز: اگر به صورت جذب ذرات محللول در آب باشد به آن پینوسیتوز (pinocytosis) می گویند.



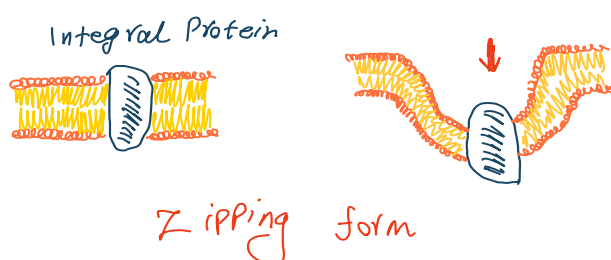
۳- اگزوسیتوز: حرکت شایع دیگر در غشا exocytosis است که به هدف دفع یا ترشح مواد انجام می شود. نمونه آن ترشح بزاق است که بوسیله غشای سلولی انجام میشود.

کیسه غشایی تولید شده در سلول ها سرنوشت های مختلفی دارد. به عنوان مثال سلول ممکن است محتوای آن را ذخیره کند (ذخیره شدن گلوکز توسط هپاتوسیت برای تولید گلیکوژن). بعضی از این کیسه ها با پیوستن به اندامکی به نام لیزوزوم باعث هضم مواد داخلشان می شوند. اگر عملکرد لیزوزوم ها مختل بشود؛ شاهد تجمع مواد ذکر شده در سلول خواهیم بود که به آن lipofuscin خواهیم

گفت. نمونه آن پیگمان های فرسودگی در سلول های عصبی چشم و مغز است که در افرادی که به میزان زیاد با صفحه گواشی یا لپتاب کار می کنند شایع است. پیامد دیگر آن فراموشی موقت است. در هنگام جذب برخی از مولکول های اختصاصی مانند هورمون ها شاهد احاطه شدن کسبه غشایی بوسیله پروتئینی به نام کلاترین هستیم. به این نوع کیسه غشایی یا وزیکل coated vesicle میگویند.



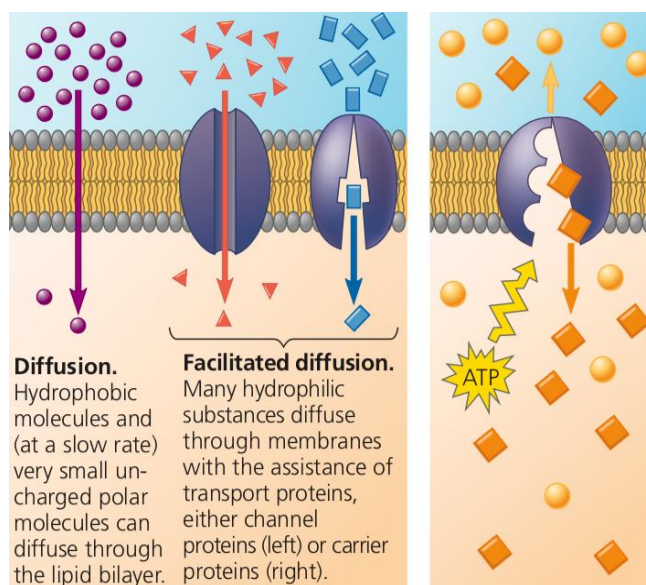
این حرکات خود باعث افزایش و کاهش سطح غشای سیتوپلاسمی می شوند. غشای سلول حالت انعطاف پذیری (flexibility) دارد که علت این انعطاف پذیری اتصال رشته های بسیار ضعیف پروتئینی anchoring fibril به سطح درونی غشا است (درواقع این رشته ها با متصل کردن غشا به ساختارهای دیگر موقعیت غشا را تنظیم می کنند). انعطاف پذیر ترین سلول در بدن گلبول قرمز است. چون می تواند به واسطه باریک شدن وارد مویرگ هایی با مقیاس میکرون بشود و از آن عبور کند.



برای به یادماندن حرکت غشایی و پروتئین های دخیل در آن از مثال زیپ استفاده می شود و اصطلاحاً می گویند غشای سیتوپلاسمی حرکت زیپ مانند (zippering form) دارد. دکمه زیپ همان پروتئین انتگرال است که به حرکت به سمت پایین غشا باز و با حرکت به سمت بالا غشا بسته می شود.

- با وجود تمام حرکات ذکر شده در یک لحظه تقریباً بیش از ۳۰۰۰۰۰ نوع حرکت در غشا رخ می دهد.
- دستگاه انسفالوگرام امواج تولید شده به وسیله این حرکات را ثبت می کند.

این پروتئین ها باعث ورود یون ها از بیرون سلول به درون آن نیز می شوند که به آن کانال می گویند. بنابراین مولکول ها برای ورود باید از این پروتئین ها عبور کنند. شرط دیگر ورود به سلول یونیزه بودن یا باردار بودن است که این به علت قطبی بودن سلول است. یونیزه شدن مولکول ها به کمک همراهی یون های سدیم و کلسیم انجام می شود. مثال مشابه آن در روزمره خوردن نمک حین غذا است که برای تغییر اسیدیته دهان و ترشح بزاق و آنتی بادی برای از بین بردن میکروب انجام می شود. (این پاراگراف توضیحات استاد بود؛ برای شفاف سازی به شکل زیر توجه نمایید همچنین احتمالا می دانید که تنها مولکول های بسیار کوچک و یا ناقطبی قادر به عبور از عرض غشا از طریق انتشار ساده هستند)



هر اسید چرب دو قسمت دارد : سر که آبدوست است و دم ها که آبگریز هستند. علاوه بر این ها روی غشای سیتوپلاسمی زوائدی به نام رسپتور قرار دارند که به سلول ها قابلیت تشخیص می دهند. مثلا در سلول های عصبی رسپتور ها هستند که با تشخیص گلوکز از پروتئین ها و لیپید ها به آن اجازه ورود به سلول برای تولید انرژی می دهند.

تمام سلول ها cell coated هستند یعنی پوششی دور غشای خود دارند. جنس این پوشش از گلیکولیپید و اسید سیالیک و پروتئین است. این پوشش توسط خود سلول دور خودش ترشح شده است. Cell coat هر سلول با سلول دیگر متفاوت است ؛ برای مثال پوشش سلولی نوروها میلین است. اگر این میلین بیش از اندازه نازک یا ضخیم بشود فرد دچار بیماری مالتیبل اسکلروزیس MS می شود. بنابراین غشا هم با فضای دور سلولی ارتباط دارد و هم با سیتوپلاسم.

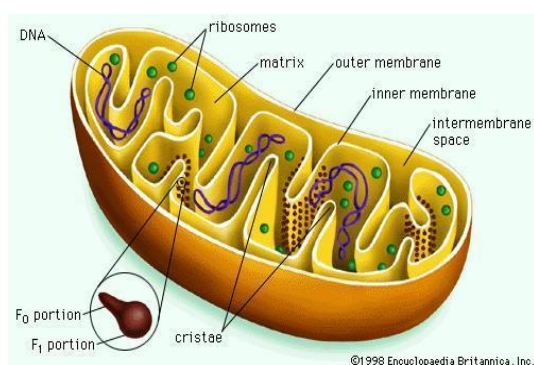
Cytoplasm

حاوی سیتوزول و اندام‌هایی است که به بررسی اندامک‌ها می‌پردازیم:



۱- میتوکندری (power plate organelle) :

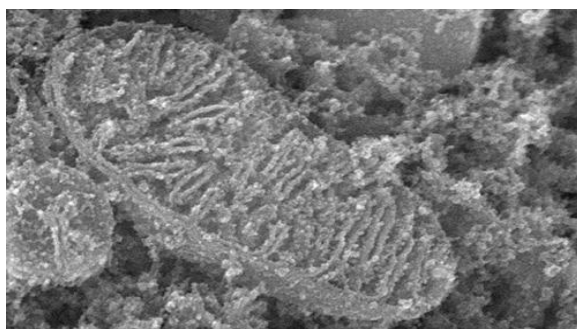
وظیفه تولید انرژی را برعهده دارد. این اندامک جزو اندامک‌های دو غشایی محسوب می‌شود. لایه درونی آن چین خورده است و به آن crest تیغه می‌گویند. روی این تیغه آنزیم‌هایی وجود دارند که به تشکیل چرخه تنفسی کمک می‌کنند.



مورفولوژی میتوکندری

۱- شکل عام و کلی snake form یا مار شکل در هپاتوسیت‌ها

۲- circular یا کروی در کاردیوسیت یا سلول‌های قلبی



۳- بیضوی در سلول‌های بافت پوششی نفرون

علت شکل مختلف این سلول‌ها تفاوت در یلاریته یا بار سلول‌های گوناگون ناشی از یون‌هاست که این بر مکان قرارگیری اندامک‌ها در سلول نیز تاثیرگذار است.

نکته ۱: سلول‌های ماندگار از سلول‌های ناپایدار تعداد میتوکندری‌های بیشتری دارند. مثلاً سلول‌های عصبی و کاردیوسیت از سلول‌های پوست تعداد میتوکندری‌های بیشتری دارد.

نکته ۲: اجتماع میتوکندری‌ها در ناحیه‌ای از سلول بیشتر است که در آنجا فعالیت سلولی بیشتر باشد.

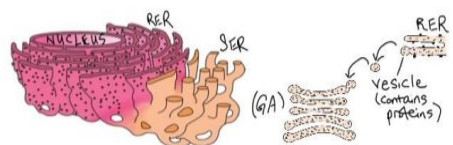
نکته ۳: میتوکندری فقط با میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده است.

شبکه آندوپلاسمی (Endoplasmic reticulum):

از لوله های پهن شده تشکیل شده اس. ۲ نوع دارد:

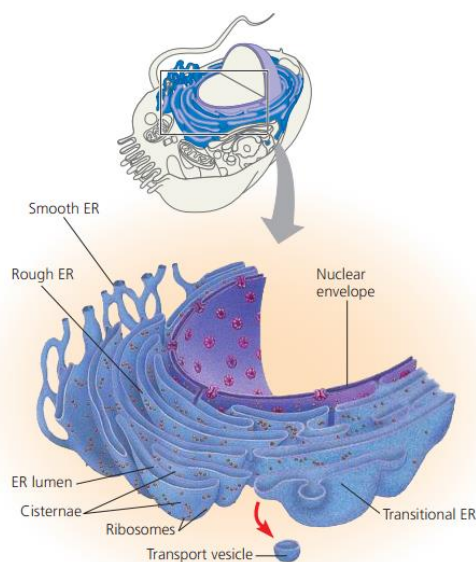
۱- با ریبوزوم rough endoplasmic reticulum: این شبکه پروتئین تولید می کند. این نوع از شبکه در سلول های غده بزاقی فعال تر و زیادتر است.

۲- بدون ریبوزوم smooth endoplasmic reticulum: لیپیدها یا چربی می سازد. این نوع از شبکه در سلول های آدیپوسیت یا چربی فعال تر است. این سلول های چربی در زیر پوست باعث زیبا شدن آن می شوند. در این سلول ها ماده ای به نام لپتین ترشح می شود که ضد سرطان است.



Organelle	Structure	Function
Rough Endoplasmic Reticulum (RER)	Ribosomes attached on RER	• Ribosomes on it make proteins that are enclosed in vesicles transported to the Golgi apparatus for secretion out of the cell.
Smooth Endoplasmic Reticulum (SER)	No ribosomes attached.	• Synthesizes fats and steroids (eg. sex hormones) • Detoxifies harmful substances

13

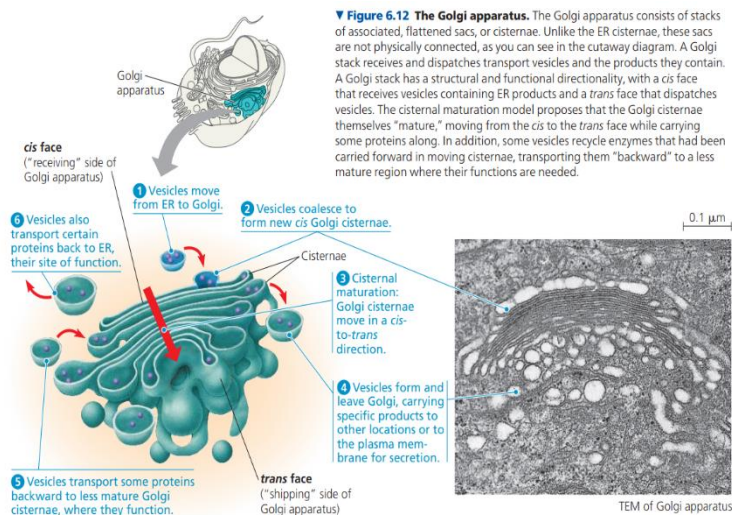


در سلول های هپاتوسیت هم SER و هم RER زیاد دارد تا بدین وسیله تولید لیپوپروتئین کند.

- این اندامک ها تک لایه ای هستند و بوسیله میکروسکوپ الکترونی TEM دیده میشوند.
- شبکه آندوپلاسمی زیر به هسته نزدیک است تا پروتئین های تولیدی خود را به هسته آن ارسال کند.

دستگاه گلژی

دارای کیسه هایی با تقعر و تحدب است که از سمت مخالف بر روی یکدیگر قرار میگیرند . یعنی سطح محدب یک کیسه در مجاورت سطح مقعر کیسه بعدی است.



این دستگاه وظیفه گلیکوزیلاسیون یا اتصال واحد های قندی به پروتئین ها را برعهده دارد. لپید تولید شده توسط SER به شکل وزیکل پر از چربی به سطح محدب گلژی وارد می شود. مانند آن نیز پروتئین ها پس از تولید به شکل وزیکل انتقالی transfer vesicle از سطح شبکه جدا شده و به سمت گلژی می رود. پس از گلیکوزیلاسیون دستگاه گلژی ؛ ۳ نوع گرانول خروجی از سمت مقعر آن جوانه می زند:

(دقت کنید که گرانول ها از گلژی جوانه می زنند ؛ ولی وزیکل ها از انواع شبکه های اندوپلاسمی جوانه میزنند)

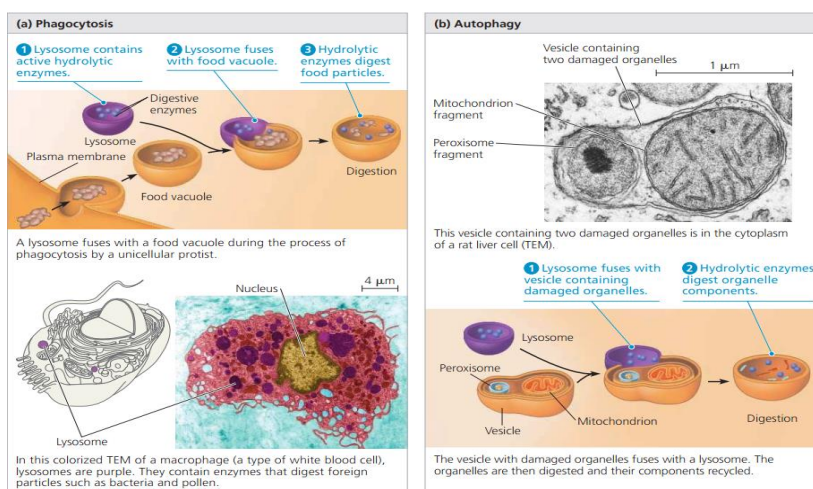
۱- گرانول هایی که به اندامک هایی مانند لیزوزوم در سلول تمایز پیدا می کنند.

۲- تبدیل شدن به غذا برای سلول (چربی پروتئین و کربوهیدرات).

۳- دفع و ترشح گرانول (excretory & secretory granule) که به بیرون سلول تخلیه می شود. مثلا لیوپروتئین هایی که توسط کبد به بیرون ریخته شده و به تمام سلول های بدن می رسد. نمونه دیگر آن پروتئین های بزاق است یا پروتئین های ترشح شده به ماتریکس خارج سلولی.

بنابراین گلژی در سلول هایی که فعالیت ترشحی زیاد دارند مانند هپاتوسیت زیاده تر است. این اندامک در هپاتوسیت و نورون ها و سلول قلبی برخلاف دیگر اندامک ها با میکروسکوپ نوری هم قابل مشاهده است. بنابراین میتوانیم در زیر میکروسکوپ نوری و با رنگ آمیزی H&E دستگاه گلژی را به صورت کیسه هایی با رنگ آبی متمایل به بنفش در کنار هسته و در سلول های عصبی و کبدی و... مشاهده کنیم.

لیزوزوم:



• دقت کنید که لیزوزوم یک اندامک و لیزوزیم یک آنزیم است.

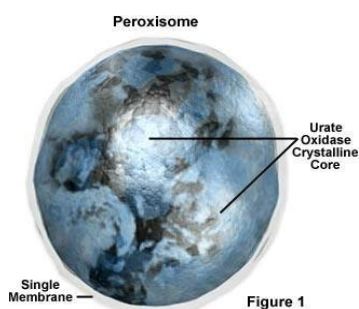
درون این اندامک از آنزیم های گوارشی مواد غذایی پر شده است. این اندامک خود ۲ نوع دارد:

۱- اولیه primary که وزیکول های پینوسیتوزی و فاگوسیتوزی را دریافت میکند

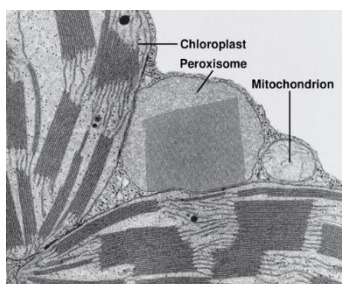
۲- ثانویه secondary نوع اولیه پس از دریافت وزیکول ها تبدیل به وزیکول ثانویه میشود.

بنابراین هرچه جذب و دفع سلول ها بیشتر باشد تعداد لیزوزوم های بیشتری دارد. مانند سلول های هپاتوسیت.

پراکسی زوم:

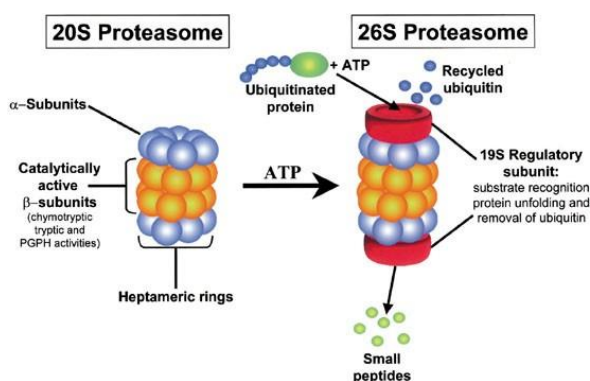


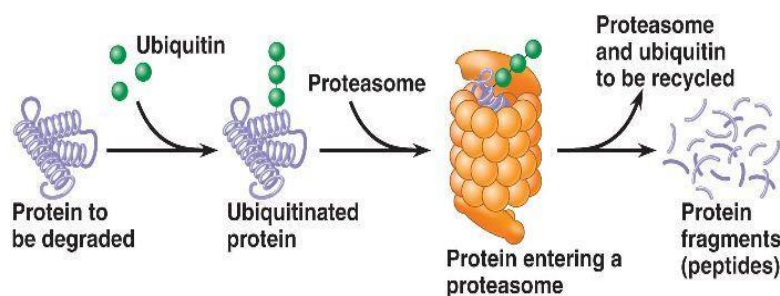
این اندامک بوسیله آنزیم هایی که دارد هیدروژن پراکسید یا H_2O_2 تولید می کند سپس سلول را آن را به آب و اکسیژن تجزیه می کند. این اندامک تک لایه است و در همان لایه آنزیم های پراکسیداز (که نقش آنتی اکسیدانی را ایفا می کنند) قرار گرفته اند و عملکرد فوق را به انجام میرسانند. کبد به علت داشتن متابولیسم بالا میزان زیادی از پراکسی زوم دارد.



پروتئازوم

بدون غشا است. این اندامک تمام پروتئین های دناتوره شده را از بین می برد. این موضوع اهمیت پروتئین ها را در بدن نشان میدهد چراکه بیشتر ویتامین های بدن در جانوران که میزان پروتئین زیادی دارند ذخیره می شود.





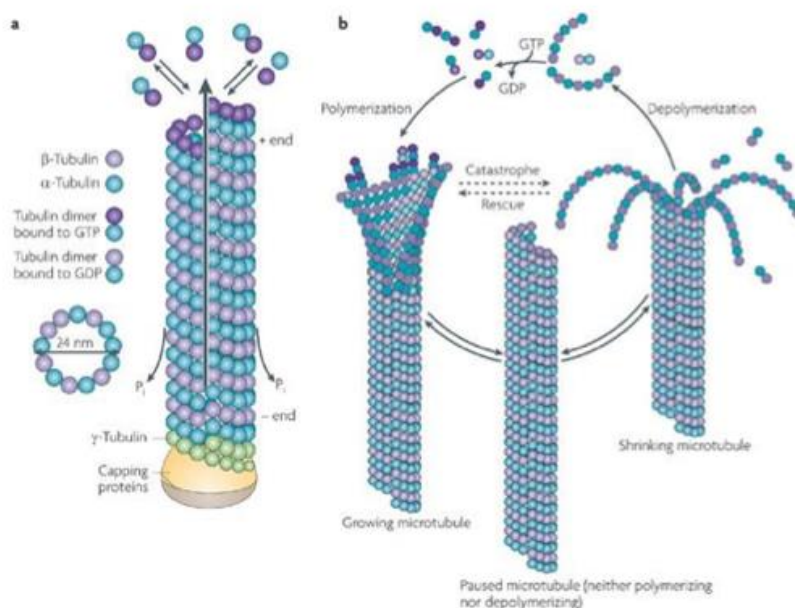
عناصر سایتواسکلتال (اسکلت سلولی)

اندامک های فاقد غشا هستند و نقش اسکلتی برای سلول را ایفا می کنند. این عناصر عبارتند از :

۱- میکروتوبول

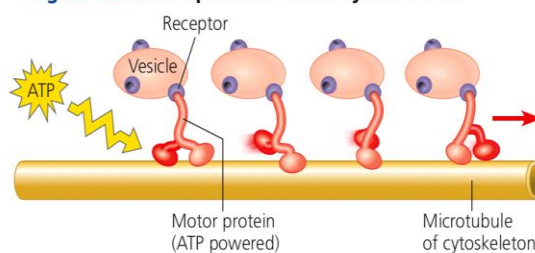
میکروتوبول ها از دو نوع پروتئین توبولین (شامل آلفا و بتا) تشکیل شده اند . میکروتوبول ها دائماً در حال ریوایز revise هستند؛ بدین معنا که دائماً از یک سو ساخته و از سوی دیگر تخریب می شوند. در نتیجه این ساخت و تخریب رشته از جایی به جای دیگر جابجا میشود. علت این ریوایز دائمی، حرکت دائمی سلول است. (شامل جذب / دفع / شناسایی و تشخیص / و..)

نکته : در یک سلول ممکن است چند نوع حرکت به طور همزمان دیده شود . برای مثال یک سلول مشخص، در یک زمان از یک سوی خود، جذب و از سوی دیگرش دفع انجام می دهد. لذا زمانی که سلول در حال آگروسیتوز موادی میباشد، تمام غشای سلول در این امر دخالت ندارد و فقط بخشی از غشا، آگروسیتوز را انجام میدهد.



- میکروتوبول ها فضاهایی را برای استقرار ارگانل ها در سلول ایجاد می کنند.
- **سایتوسل؛** که همان فضای محدود بین رشته های میکروتوبول است؛ شامل آب و پروتئین های محلول در آن و موارد دیگر است که در میکروسکوپ الکترونی به شکل روشن دیده میشود زیرا الکترون ها را کمتر منحرف می کند.
- همچنین میکروتوبول ها مسیرهایی را برای حرکت مواد و وزیکل ها در سلول ایجاد می کنند (میکروتوبول نقش کانداکتور و هدایتگر در سلول را دارد).

▼ Figure 6.21 Motor proteins and the cytoskeleton.



(a) A motor protein that attaches to a receptor on a vesicle can "walk" the vesicle along a microtubule or microfilament.

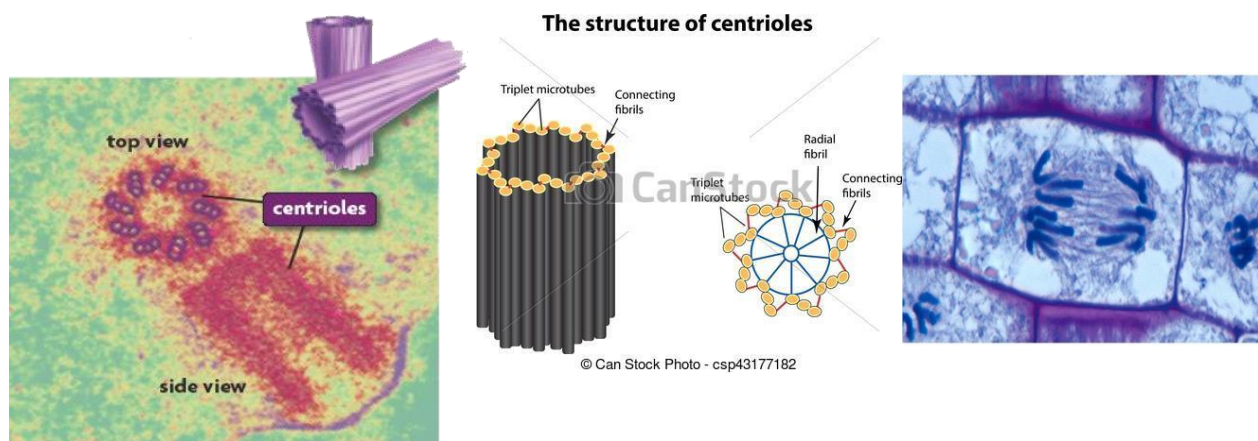
میکروتوبول ها مانند ریل راه آهن، مابین اندامک ها قرار دارند.

- یکی دیگر از وظایف میکروتوبول، شکل و فرم دهی به سلول است. (میکروتوبول وظیفه شکل دهی به سلول های مختلف مثل سلول های عصبی، عضلانی و .. دارد).
- میکروتوبول، spindle division یا همان دوک تقسیم را نیز تشکیل می دهد.

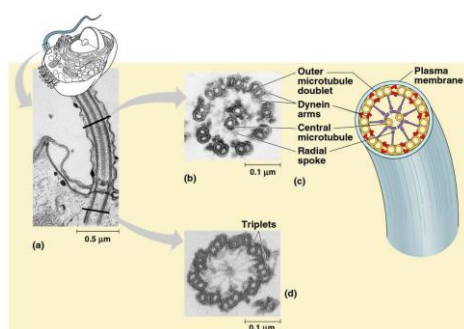
یکی از انواع دسته بندی سلولهای بدن؛ تقسیم بندی به دو نوع سلولهای somatic و sexual میباشد. تقسیم سلولهای سوماتیک از نوع میتوز و نتیجه آن در بدن انسان تولید دو سلول $2n$ میباشد و تقسیم سلولهای جنسی از نوع میوز و نتیجه آن، تولید 4 سلول n میباشد.

سانتریول

اندامکی است که فقط در زمان تقسیم سلولی قابل رویت می باشد. ساختار سانتریول نیز خود از میکروتوبول ها تشکیل شده است. الگوی ساختمان آن به این شکل است که در آن ۹ عدد دسته ۳ تایی از میکروتوبول های متصل به هم وجود دارد که این ۹ دسته نیز خود توسط پروتئین داینئین به هم متصل می شوند پروتئین داینئین برخلاف میکروتوبول های تشکیل دهنده سانتریول قابل مشاهده نیست.



تاژك



ساختار دیگر ؛ تاژك (flagella) است، مانند دم اسپرم، که شکلی شبیه به سانتریول دارد ؛ ولی با این تفاوت که در مرکز ۹ دسته ۳ تایی تا ۲ تا میکروتوبول متصل به هم قرار گرفته است. اسپرم ، ساختار میکروتوبولی دارد.

۲- فیلامنت

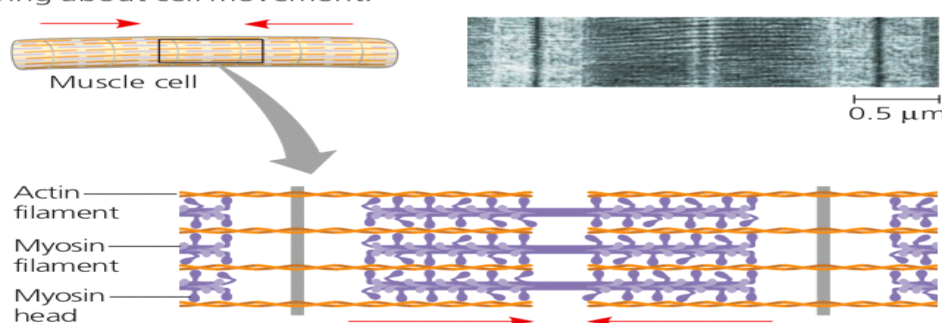
خود نیز به دو دسته تقسیم میشوند:

فیلامنت ها میتوانند ضخیم (thick) و یا (thin) باشند. میوزین ، فیلامنت ضخیم و اکتین ، فیلامنت نازک میباشد. این فیلامنت ها در تمام سلولهای بدن حضور دارند ، ولی در بعضی سلولهای بدن از جمله سلولهای ماهیچه ای، فیلامنت های خاصی وجود دارد که سازمان دهی شده اند و سارکومر نام دارند.

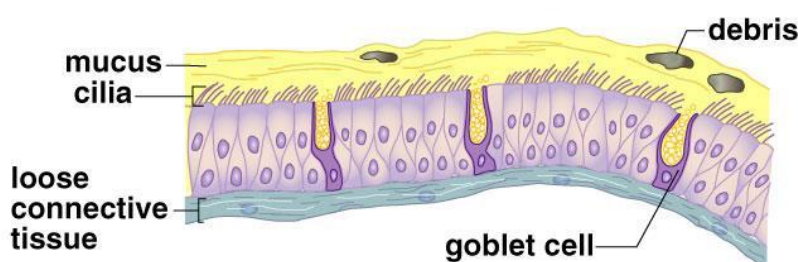
۱- میکروفیلامنت (microfilaments)

از پروتئین اکتین تشکیل شده اند. این رشته ها در تمام سلول های جانوری حضور دارن ؛ زیرا همراه با رشته های میوزین در هنگام تقسیم سلولی باعث تقسیم سیتوپلاسم می شوند. ولی در بعضی سلول های خاص مقادیر این دو رشته بیشتر است و به صورت سازمان دهی شده قرار میگیرند که به آن سارکومر میگویند (مثلا در سلول های عضلانی)

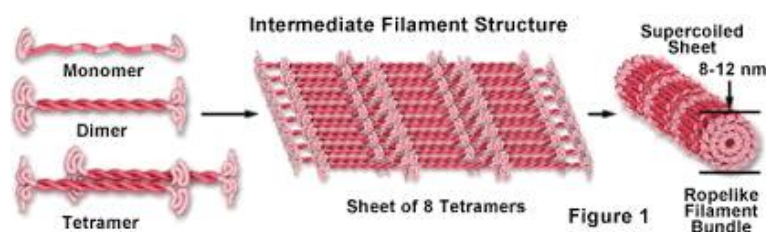
▼ **Figure 6.26 Microfilaments and motility.** In these three examples, interactions between actin filaments and motor proteins bring about cell movement.



مژک ها (cilia) زوائد غشایی هستند که در ساختار آنها میکروفیلامنت ها قرار دارند. این ساختار، در سلول های مژک دار بخش هادی دستگاه تنفسی و سلول های مژک دار لوله فالوپ قابل مشاهده است. در صورتی که مژک های این سلول ها به خوبی کار نکنند؛ اووسیت ثانویه نمیتواند در طول لوله فالوپ حرکت کند و در ناحیه شکم باقی میماند و فرد دچار نازایی میشود. این فرد برای فرزند آوری باید از تکنیک لقاح خارجی استفاده کند. (in vitro fertilization)



۲- فیلامنت های حدواسط



از ۳ نوع پروتئین تشکیل شده اند که هرکدام در قسمت خاصی از بدن کاربرد دارد:

۱- دسمین: (desmin) در اتصالات سلولی مشاهده میشود. به خصوص در اتصالات سلولی بافت پوششی سلول های خاردار spinous layer اپیدرم پوست نقش دارد.

۲- ویمنتین: (vimentin) در عضلات دیواره عروق به مقدار زیادی وجود دارد.

۳- کراتین keratin که در خود دو نوع دارد:

Ceratin در کلیه

Keratin در پوست

دانستیم که یکی از شاخص های مهم مورفولوژی یک سلول، هسته (nucleus) است. براساس پلاریته سلول، ممکن است هسته جایگاه های متفاوتی داشته باشد (هرجا پلاریته (بار های یونی) بیشتر باشد هسته در آنجا قرار میگیرد. فعالیت بیشتر سلول در یک ناحیه و تجمع میتوکندری ها در یک ناحیه علت بالاتر بودن پلاریته آن محسوب میشود).

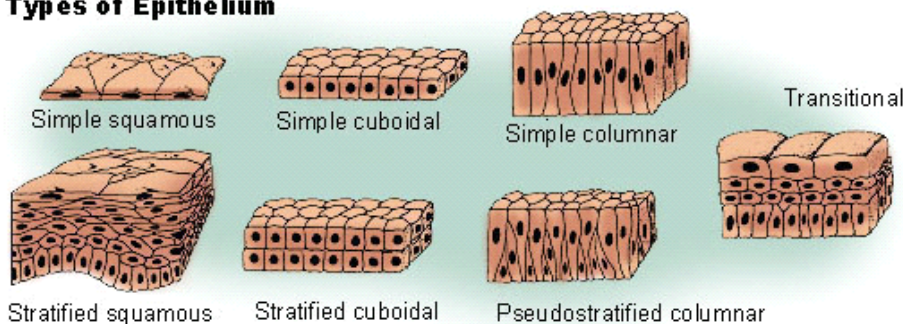
اگر هسته در وسط باشد ولی دیواره آن نامنظم باشد. به این سلول ها سنگفرشی (squamous) میگویند.

اگر هسته در قاعده باشد و حالت کشیده داشته باشد به آن استوانه ای (columnar) میگویند.

اگر هسته در وسط باشد ولی منظم و گرد باشد؛ سلول مکعبی (cuboidal) است.

اگر هسته گرد و نزدیک دیواره قرار بگیرد، exocenter یا خارج از مرکز میباشد. plasmacell ها از این نوع سلول ها هستند.

Types of Epithelium



در هسته فضایی به نام نوکلئوپلاست وجود دارد. غشای هسته دو لایه ای است که لایه درونی آن بوسیله پروتئین تیغه ای (تیغه های رشته ای شکل) به زمینه نوکلئوپلاسم وصل است. در مرکز نوکلئوپلاسم نوکلئولوس (nucleolus) یا هستک وجود دارد.

در رنگ آمیزی H&E هسته به رنگ بازوفیل (آبی متمایل به بنفش) است. در هنگام تقسیم، نوکلئوپلاسم تبدیل به کروموزوم میشود. این کروموزوم ها از DNA (دئوکسی ریبونوکلیک اسید) تشکیل شده اند؛ در حالی که نوکلئولوس از RNA (ریبونوکلیک اسید) به همراه فیبریل ها تشکیل شده است.

Nucleolus: RNA+ fibril

دانستیم که دو نوع رنگ آمیزی بازوفیل تیره و شفاف داریم. در بازوفیل شفاف، هستک سلول قابل مشاهده است.

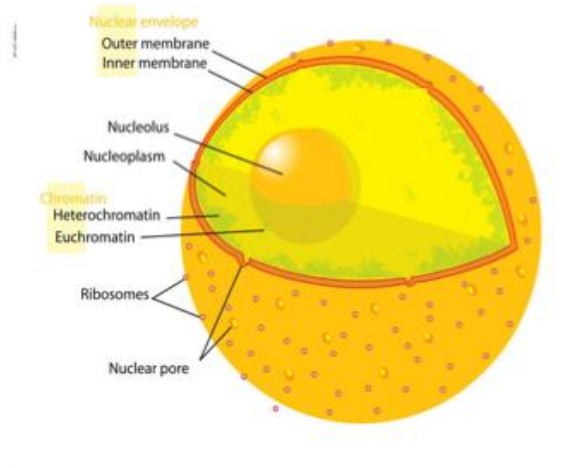
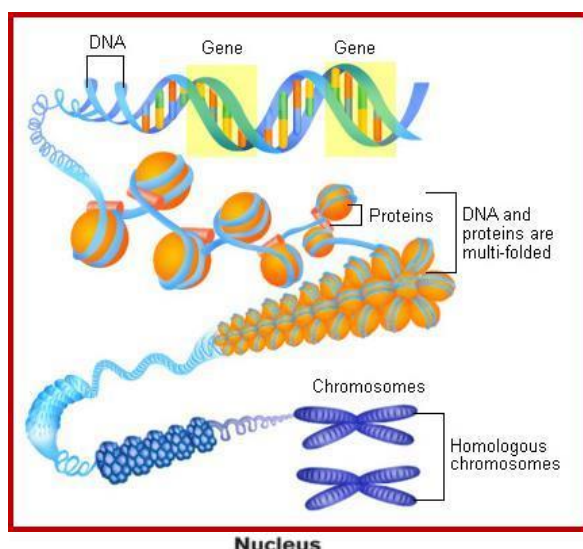
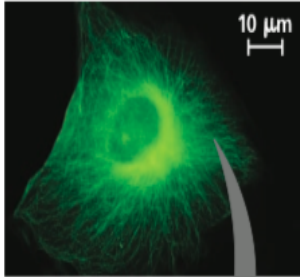
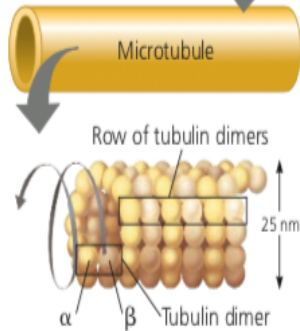
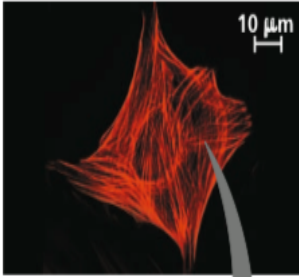
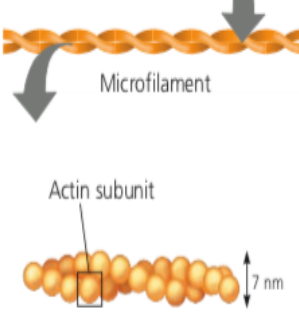
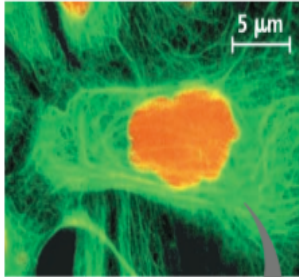
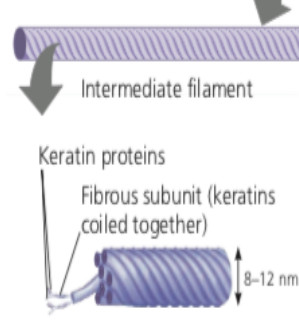


Table 6.1 The Structure and Function of the Cytoskeleton

Property	Microtubules (Tubulin Polymers)	Microfilaments (Actin Filaments)	Intermediate Filaments
Structure	Hollow tubes	Two intertwined strands of actin	Fibrous proteins coiled into cables
Diameter	25 nm with 15-nm lumen	7 nm	8–12 nm
Protein subunits	Tubulin, a dimer consisting of an α -tubulin and a β -tubulin	Actin	One of several different proteins (including keratins)
Main functions	Maintenance of cell shape; cell motility; chromosome movements in cell division; organelle movements	Maintenance of cell shape; changes in cell shape; muscle contraction; cytoplasmic streaming (plant cells); cell motility; cell division (animal cells)	Maintenance of cell shape; anchorage of nucleus and certain other organelles; formation of nuclear lamina
Fluorescence micrographs of fibroblasts. Connective tissue cells called fibroblasts are a favorite cell type for cell biology studies because they spread out flat and their internal structures are easy to see. In each fibroblast shown here, the structure of interest has been tagged with fluorescent molecules. In the third micrograph, the DNA in the nucleus has also been tagged (orange).	 	 	 

انواع سلول ها براساس طول عمر

دو نوع سلول بر اساس عمر :

۱- نابالغ فعال

پسوند بلاست (blast) میگیرند مانند فیروبلاست، رتیکولوبلاست، لیپوبلاست، کندروبلاست

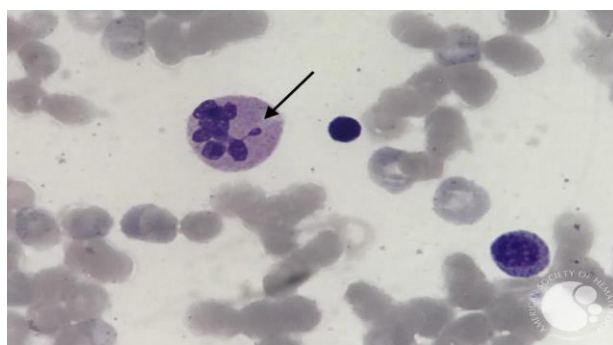
۲- بالغ غیرفعال

پسوند سیت cyte- میگیرند. در رنگ آمیزی H&E، هر سلولی که در هسته آن نوکلئولوس (هستک) پیدا باشد از نوع بلاست (نابالغ و فعال) است و هر هسته ای که هستک آن مشخص نباشد، سیت (بالغ و غیرفعال) است.

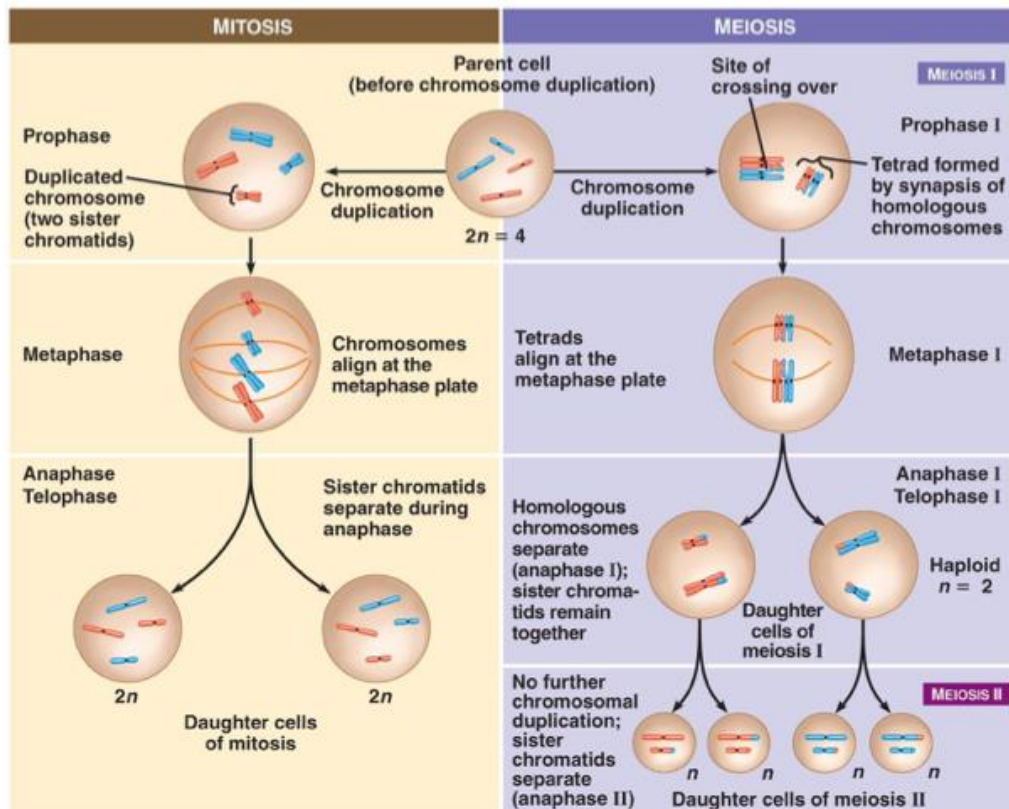
بنابراین دو شاخصه بازوفیل شفاف هسته و قابل مشاهده بودن هستک، علامت هایی برای نابالغ بودن سلول به شمار می روند. اگر هسته بازوفیل تیره باشد و هستک قابل مشاهده نباشد، این سلول بالغ است. این دو نوع سلول، میتوانند همزمان در یک بافت دیده شوند. در بین سلول هایی که هسته آنها بازوفیل شفاف است، هرچه تعداد هستک های بیشتری قابل مشاهده باشد، سلول جوان تر است.

همانطور که سلول های بلاست با بالغ شدن به سلول های سیت تبدیل می شوند؛ سلول های سیت هم میتوانند دوباره به حالت بلاست برگردند. به همین دلیل تمام بافت همبند انسان قابلیت ترمیم دارد؛ مثلاً درم پوست؛ استخوان و خون. اساس پیوند پوست نیز بر این اصل استوار است.

از ۴۶ کروموزم انسان؛ ۲ کروموزم جنسی است که در جنس مذکر XY و در جنس مونث XX است. از دو کروموزوم ایکس در جنس مونث؛ یک کروموزوم غیرفعال میشود که به آن coiled chromosome میگویند. زیرا فشرده شده است. این کروموزوم به شکل زائده برجسته در کنار هسته سلول ها قابل مشاهده است که به آن drumstick میگویند و از آن برای تشخیص جنسیت از خون یا ترشحات دهان افراد در پزشکی قانونی استفاده میکنند.

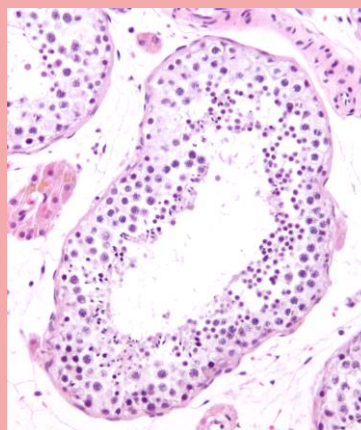


در بدن سلول ها یا somatic هستند یا sexual. در سلول های سوماتیک unstable تقسیم میتوزی داریم؛ مانند مخاط ها و پوست. در سلول های بنیادی پوست با تقسیم میتوزی دو سلول daughter cell تولید میشوند که یک سلول همچنان بنیادی میماند که به آن stem cell میگویند و دیگری تمایز پیدا میکند و differentiation cell نام میگیرد. سلول بنیادی تولید شده نیز بر اساس دستورات سیستم عصبی مرکزی به نام هورمون های calven تمایز پیدا میکند. برای تشخیص سلول های در حال تمایز و stem cell ها؛ میتوان از همان قاعده سلول بالغ و نابالغ استفاده کرد؛ اگر هسته بازوفیل کمرنگ باشد سلول در حال تمایز و اگر هسته بازوفیل پر رنگ باشد، سلول بنیادی محسوب میشود.

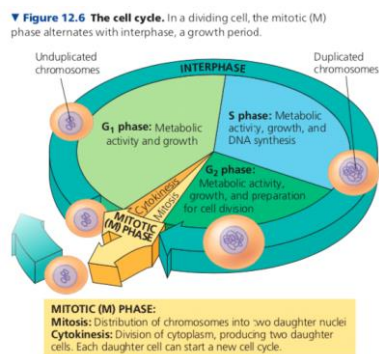


نکته : پلاسماسل را با سلول هایی که پسوند سیت دارند اشتباه نگیرید؛ این سلول نه بلاست است نه سیت ؛ بلکه خود محصول نهایی تمایز لنفوسیت های B محسوب میشود.

نکته : در محیط مجاری اسپرم ساز ؛ سلول های زاینده اسپرم (اسپرماتوگونی) داریم که همه در حالت غیر فعال هستند و هسته آنها بازوفیل پر رنگ است؛ ولی به محض آغاز تمایز شروع به تقسیم میکند و سلول های بعدی (اسپرماتوسیت اولیه و ثانویه ؛ اسپرماتید و اسپرماتوزوئید)را تولید میکند که در هر مرحله هسته ها بازوفیل کم رنگ تری دارند و بنابراین فعال تر محسوب میشوند.



چرخه سلولی

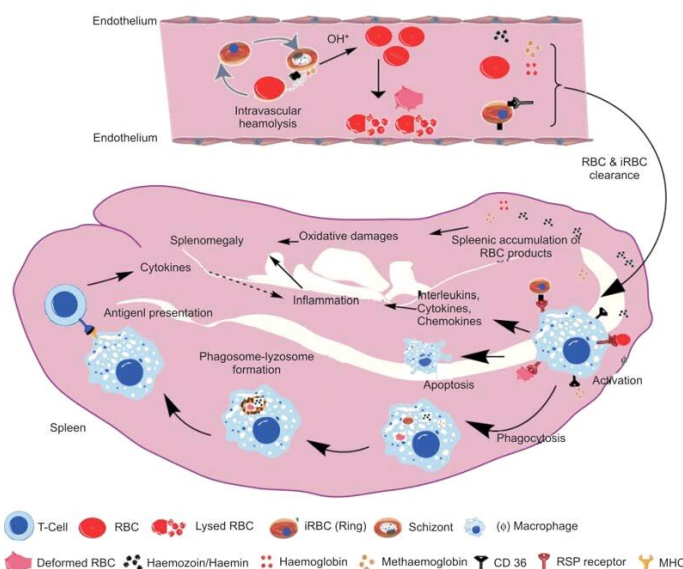


زمان چرخه سلولی برای هر بافت متفاوت است. در جزوه قبلی اشاره کردیم که در مخاط مری تا راست روده چرخه سلولی حدود ۴۸ تا ۷۲ ساعت است. هرچه فرد جوان تر باشد زمان چرخه کمتر و هرچه فرد پیرتر باشد زمان چرخه بیشتر است. این زمان برای سلول های اپیدرم پوست از ۱۹ روز تا ۳۹ روز طول میکشد. بنابراین نرخ مرگ سلول ها و ریزش آنها از بدن در افراد جوان بیشتر است.

اصطلاحات

هتروفازی (heterophagy)

به طور کلی برخی از سلول های بدن به دلیل فعالیت زیاد چند هسته دارند. سلول های ماکروفاژ نمونه ای از این سلول ها هستند. در برخی از سلول ها، این هسته ها به هم متصل شده و حالت polylobe ایجاد میکند. این ماکروفاژ ها -که در طحال رتیکولوسیت و رتیکولوبلاست نام دارند -حالت فعال آن که رتیکولو بلاست است، سلول های deformed مثلاً گلبول های قرمزی که خارج از مویرگ رفته اند و انعطاف پذیری خود را از دست داده اند را فاگوسیتوز میکنند. این عملکرد مستقل از عمر گلبول های قرمز (۱۲۰ روز) و در طحال انجام میشود به همین دلیل به آن قبرستان بدن میگویند. عدم عملکرد این سلول ها باعث کاهش اکسیژن رسانی به سلول های بدن و خونریزی زیرجلدی میشود.



اوتوفاژ (autophagy)

ماکروفاژ ها پس از اینکه به تعداد مشخصی عوامل بیماری زا و سلول ها را فاگوسیتوز کردند؛ خود را از بین میبرند که به آن اتوفاژی میگویند.

اوتولایزی (autolysis)

گاهی اوقات آنزیم های گوارشی لیزوزوم یک سلول، در خود سلول آزاد شده و آن را از بین میبرد . مثلا سلول هایی در خون وجود دارند (zymboo cells) که آنتی ژن های موجود در خون را پیدا میکند و فاگوسیتوز میکند . آنتی ژن ها عوامل آسیب رسانی هستند که از طریق تنفس ؛ خوردن آشامیدن و ... وارد بدن میشوند. این سلول پس از فاگوسیتوز ؛ برای نابود کردن آنتی ژن ها خود را لیز میکند که به این کار اتولیز میگویند. این کار بوسیله لیزوزوم ها انجام میشود.

هترولایزی (heterolysis)

ماکروفاژها، سلولی که دچار آپوپتوز شده است را با ترشح آنزیم هایی از بین میبرند. بنابراین به این سلول ها سرباز های بدن میگویند.

سلول های آپوپتوتیک (apoptotic cells)

سلول های unstable somatic برخلاف سلول های اسپرماتوزوئید در سمینل و زیکول و اووسیت قبل از رسیدن به واژن که تا مدت ها زنده باقی میمانند ؛ میرا هستند . اگر برنامه مرگ یک سلول توسط هسته خود آن سلول به آن القا شود اصطلاحا گفته میشود که سلول دچار آپوپتوز شده است . برای بررسی مورفولوژی سلول های آپوپتوتیک، باید به هسته آنها دقت کنیم:

هسته کاریوپیکنوتیک (karyopyknosis)

چروکیده شده است .

هسته کاریورکزیز (karyorrhexis)

هسته ای که پس از چروکیده شدن تکه تکه میشود.



هسته کاریولیز (karyolysis)

هسته ای که کاملاً نابود شده و دیگر قابل مشاهده نیست.

این اسامی مراحل مختلف آپوپتوز نیز هستند .

