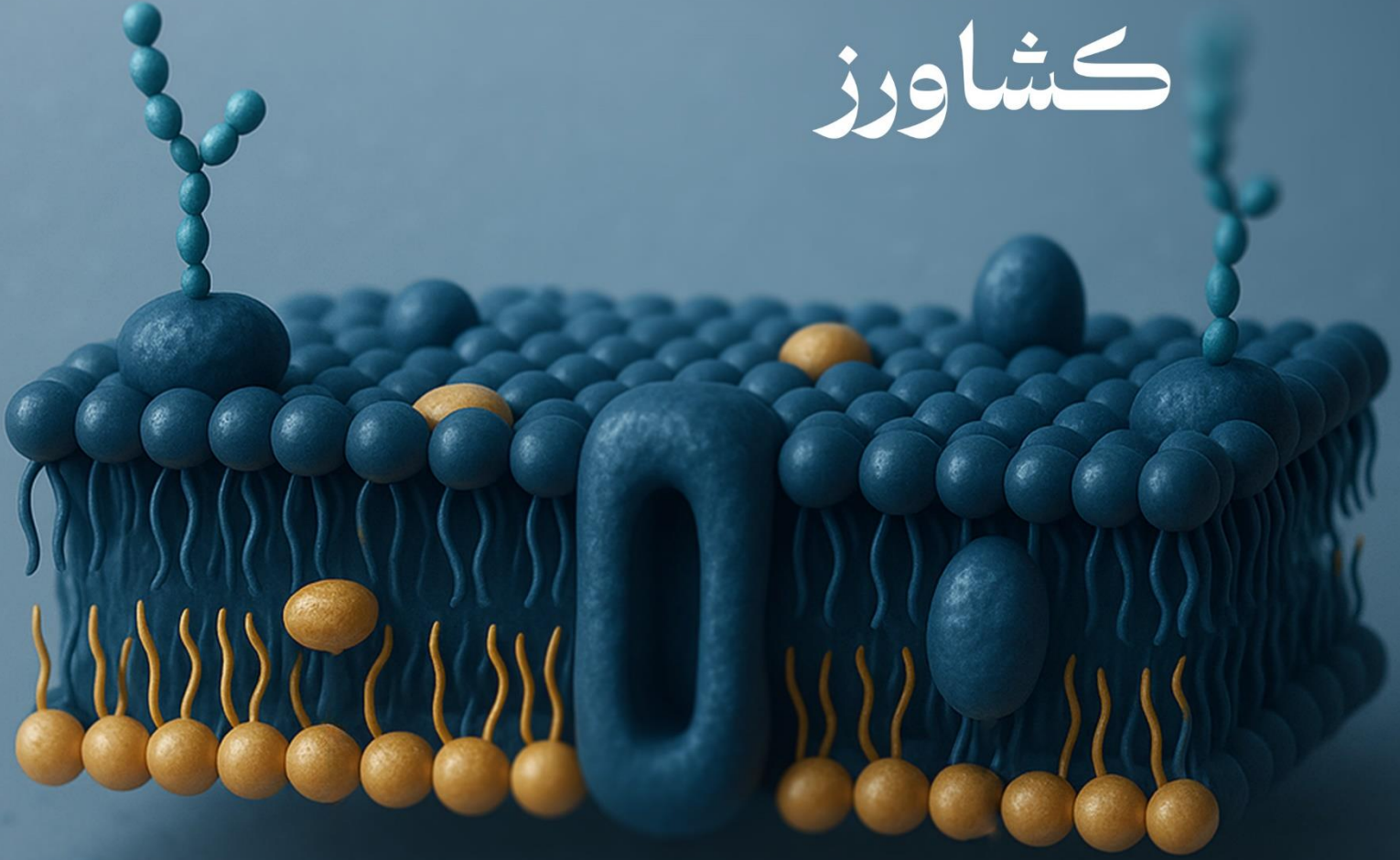


Physiology

استاد
کشاورز



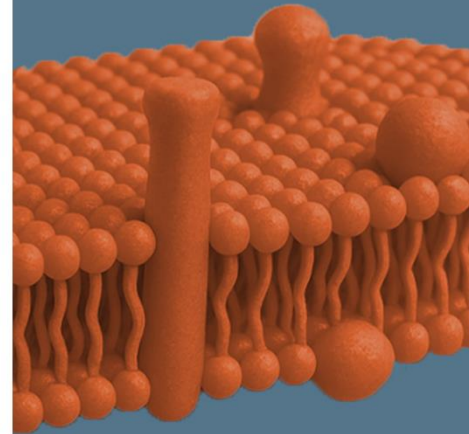
جلسه دو - پتانسیل غشا

به نام خدا

فهرست

- ساختار غشای سلول
- اساس کار غشای سلول
- پروتئین های غشا
- روش های عبور مواد از غشا
- عوامل موثر بر مقدار انتشار
- انتشار تسهیل شده
- انتقال فعال

۱۴۳
TUMS



گردآورندگان

تایپیست ها

تینا گوگوچانی
کیمیا محمدنژاد
امیدرضا علیخانی
ایمان عباسی

سر ویراستار علمی

بنیامین مهدی خانی

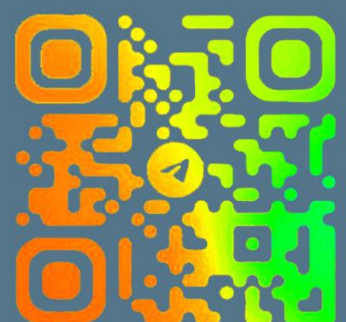
ویراستاران علمی

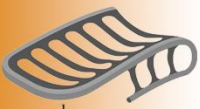
یاسین دوستی
محمدصدرا حبیب خدا

تدوین گر

علی سید صالحی

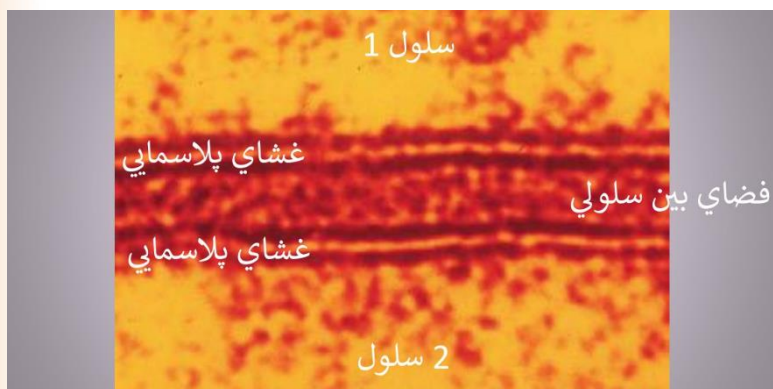
ویدئو کلاس





ساختار غشای سلول

یادآوری: غشای سلول از دو لایه چربی تشکیل شده است. با توجه به شکل دوتا سلول که کنار هم هستند. سلول شماره ۲ پایین و بالایی شماره ۱ و بینشان مایع بین سلولی است. در تصویر با میکروسکوپ الکترونی به صورت دو لایه دیده می‌شود. این دو لایه از چربی تشکیل شده است.



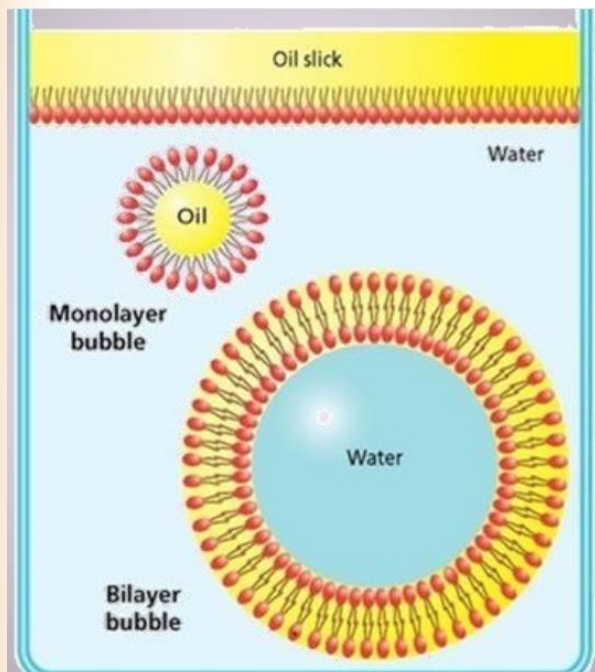
علت این است که اگر ظرف آبی داشته باشید و یک قطره روغن روی آن بریزید روغن روی سطح آب پخش می‌شود و اگر سطح آب به اندازه کافی باشد بطوری که قطره روغن کامل پخش شود؛ به صورت یک لایه چربی تک مولکولی است و این مولکول‌های چربی به گونه‌ای قرار می‌گیرند که سطوح آبدوست به سمت آب و

بخش‌های آبگریز مولکول‌ها از آب دور باشد. (حداقل تماس یا اصلاً نداشته باشد) این مولکول‌های چربی که اکثراً فسفولیپیدها و کلسترول‌ها سر قطبی با دمه‌های غیرقطبی دارند. وقتی در تماس با آب قرار می‌گیرند، سرهای قطبی به سمت آب و دمه‌های غیر قطبی از آب دور می‌شوند (مثل شخصی که بالانس زده). از همین تکنیک در گذشته دور برای اندازه‌گیری طول چربی استفاده میشد (با دستگاهی بسیار ساده) تخته‌ای حوض مانند که مستطیل شکل بود و دارای سه دیواره ثابت و یک دیواره‌ی متحرک بود. داخل ظرف آب می‌ریختند بعد یک قطره چربی با حجم مشخص می‌ریختند. چربی روی سطح آب پخش میشد سپس دیواره

متحرک را جابجا می‌کردند تا جایی که چربی کل سطح آب را اشغال کند سپس مساحت را بدست می‌آوردند. حجم هم از قبل مشخص بود، وقتی حجم بر مساحت تقسیم شود ارتفاع بدست می‌آید و به این صورت به راحتی طول مولکول چربی را محاسبه می‌کردند.

یک آزمایش مهم

حال اگر این آب را هم بزنید و چربی داخل آب برود (مانند شکل رو به رو) به صورت کره‌ای درمی‌آید که قسمت‌های آب‌گریز به سمت مرکز و سرهای آب دوست دور حلقه کره که به سمت آب است، قرار می‌گیرند تا قسمت‌های آب‌گریز با آب در تماس نباشند. به صورت ذراتی درمی‌آیند که به آن‌ها میسل^۱ می‌گویند. حال اگر در وسط کره مورد نظر آب قرار گیرد حباب تشکیل می‌شود که چربی‌ها در اطراف کره به



صورت دو لایه قرار می‌گیرند. یک لایه بیرونی است که در تماس با آب می‌باشد، در وسط حباب هم چون آب وجود دارد باز سرها به سمت آب و دمه‌ها به سمت دیگر فسفولیپیدها (دم به دم) قرار گرفته و سرها به سمت آب است. پس مجبور به تشکیل دو لایه‌ی چربی هستند وقتی در دو طرف آب وجود دارد. حال درون سلول آب خارج سلولی و آب داخل سلولی داریم بنابراین مجبور است دو لایه چربی باشد.



اساس کار غشای سلول

غشای سلولی دو لایه‌ی چربی است که مرز بین مایع داخل و خارج سلولی را ایجاد می‌کند. این مرز برای مواد محلول در آب و مواد محلول آن به عنوان یک سد محسوب می‌شود. مواد محلول در آب نمی‌توانند از این سطح عبور کنند ولی مواد محلول در چربی به راحتی رفت و آمد دارند. پس این سد مانعی در برابر آب و مواد محلول در آن یعنی مواد قطبی است. مواد غیرقطبی یا مواد محلول در چربی (هر چقدر حلالیت بیشتری در چربی داشته باشند) غشا را به رسمیت نمی‌شناسند (مثل دی‌اکسید کربن، اکسیژن، هورمون‌های استروئیدی) این نوع مواد در مایع داخل و خارج سلولی تقریباً غلظت یکسانی دارند.

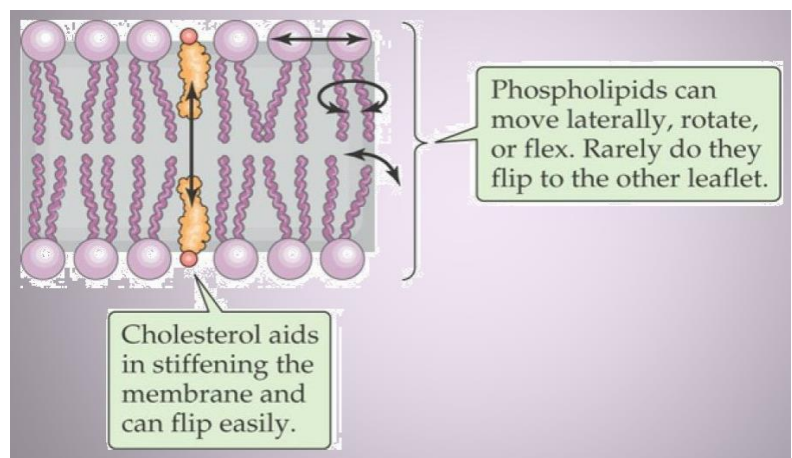
نکته: بین غلظت این نوع مواد در داخل و خارج غشا مختصر تفاوتی هست مثلاً دی‌اکسید کربن چون داخل سلول تولید می‌شود غلظتش داخل سلول کمی بیشتر از خارج سلول است بنابراین از داخل سلول دائماً به خارج سلول منتشر می‌شود و اکسیژن در مایع خارج سلول کمی غلظت بیشتری دارد و چون داخل سلول در حال مصرف است غلظت دائماً کم می‌شود و دائماً به سمت داخل سلول انتشار می‌یابد.

هورمون‌های استروئیدی محلول در چربی هستند به همین دلیل رسپتور هورمون‌های استروئیدی داخل غشا نیست و در سیتوپلاسم سلول است.

مولکول‌های چربی (از هر جنسی) در غشا آزاد هستند. این چربی‌ها دور خودشان می‌چرخند (انواع حرکت امکان پذیر است به دلیل وجود انرژی جنبشی) بعضی‌ها می‌توانند از لایه داخلی به خارجی و برعکس می‌توانند ملق^۲ بزنند ولی منابع علمی این حرکت را برای فسفولیپیدها بعید می‌دانند ولی برای کلسترول اکثراً قبول دارند.

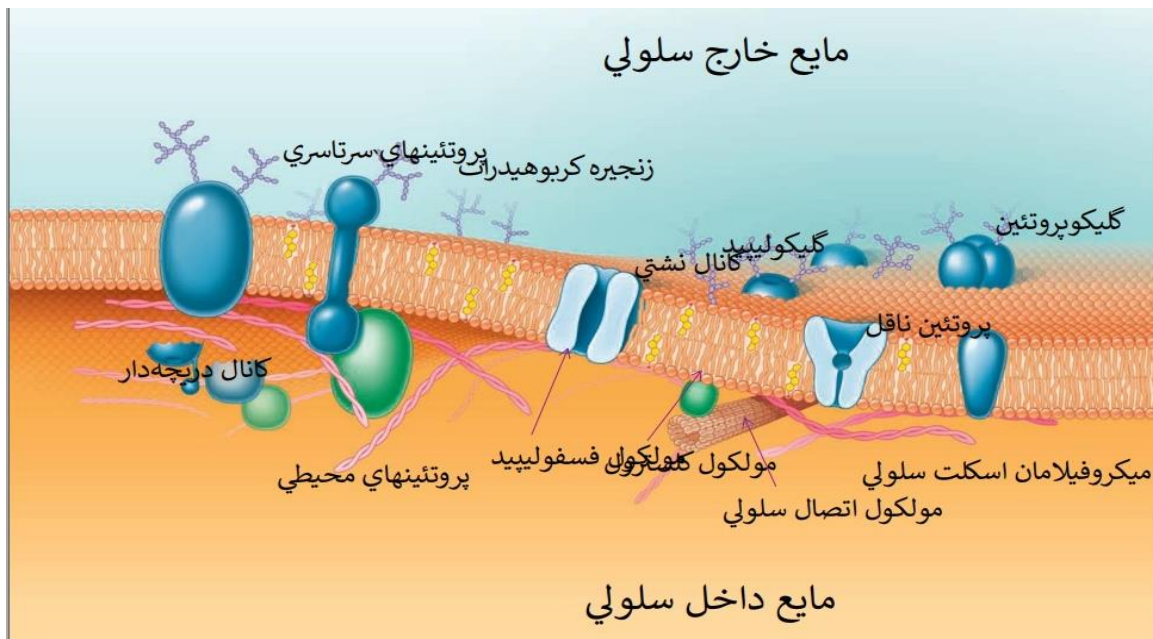
1: Micelle

2: Flip-flop





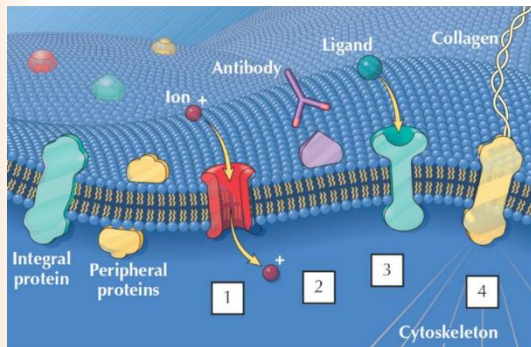
پروتئین‌های غشا



پروتئین‌های غشا، مولکول‌های درشت پروتئین هستند که به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند: پروتئین‌های اینتگرال^۱ (سراسری یا ساختاری) و پریفرال^۲ (محیطی). این تقسیم بندی در گذشته استفاده می‌شد. امروزه ملاک این است که اگر پروتئین در غشا محکم قرار گرفته باشد و به راحتی از غشا جدا نمی‌شود و جدا کردن آن از غشا باعث به هم خوردن اینتگریتی (انسجام) غشا شود، به آن اینتگرال گفته می‌شود. قاعدتا آنهایی که در هر دو لایه هستند، اینتگرال هستند. و آنهایی که در یک طرف هستند، می‌توانند اینتگرال نباشند ولی پریفرال‌ها می‌توانند با یک حرکت ساده از غشا جدا شوند و به پروتئین‌ها و چربی‌های غشا اتصال ضعیف دارند.

کربوهیدرات‌ها به صورت مستقل در غشا نیستند. ساختار اصلی غشا چربی‌ها و پروتئین‌ها است. کربوهیدرات‌ها یا به چربی‌ها چسبیده‌اند که گلیکولیپید نامیده می‌شوند و یا به پروتئین‌ها چسبیده‌اند که گلیکوپروتئین نامیده می‌شود.

پروتئین‌های موجود در غشا اعمال مختلفی انجام می‌دهند. از پروتئین‌های اتصال گرفته که در ۱- اتصال غشای سلول به اسکلت داخل سلولی، ۲- اتصال غشای سلول به ماتریکس بیرون سلولی، ۳- اتصال غشای سلول به غشای سلول مجاور نقش دارند تا انواع پروتئین‌های سلولی مانند ریسپتورها، آنتی‌ژن‌ها (نقش در سیستم ایمنی)، آنزیم‌ها و پروتئین‌هایی که در نقل و انتقال نقش دارند (یا کانال هستند یا ناقل).



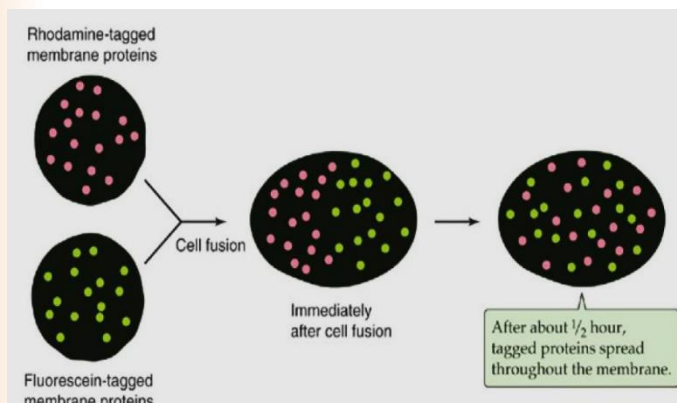
پروتئین‌ها هم مثل چربی‌ها در غشا ثابت نیستند. می‌توانند لابه‌لای ملکول‌های چربی حرکت کنند. یک سری عوامل می‌توانند حرکت پروتئین را محدود کنند مثل **زونولا** **ادهرنس** (اتصال سلولی)^۳ که در بافت پوششی رخ

¹ Integral membrane protein
² peripheral membrane protein
³ zonula adherens



می‌دهد. این اتصالات باعث جدا شدن دو طرف غشا یعنی طرف رو به حفره (لومن) که اپیکال است و طرف رو به مایع درون سلولی که بازال است می‌شوند.

در واقع این اتصال سلولی مانند حلقه‌ای دور این سلول‌ها قرار می‌گیرد که مثل چسب یا زیپ داخل هم فرو می‌روند و تبدیل به یک زون یا حلقه‌ی اتصالی می‌شوند و در نتیجه باعث می‌شوند مولکول‌های چربی یا پروتئینی وقتی به دیواره می‌رسند نتوانند عبور کنند. این امر باعث می‌شود پروتئین‌هایی که در غشای راسی هستند با پروتئین‌های که در غشای قاعده‌ی جانبی هستند متفاوت باشد.



توضیح آزمایش و عکس رو به رو: دو تا سلول در نظر گرفته شده و پروتئین‌های دو سلول با دو ماده‌ی فلوروسنت متفاوت رنگ شده، سپس با هم ترکیب کرده‌اند که سلول سومی ایجاد شده است. در شروع اتصال پروتئین‌های هر سلول سمت خودشان هستند اما در نهایت پروتئین‌ها در هم ادغام شده‌اند که این نشان دهنده‌ی این است که پروتئین‌ها می‌توانند حرکت کنند.

روش‌های عبور مواد از غشا

انتشار

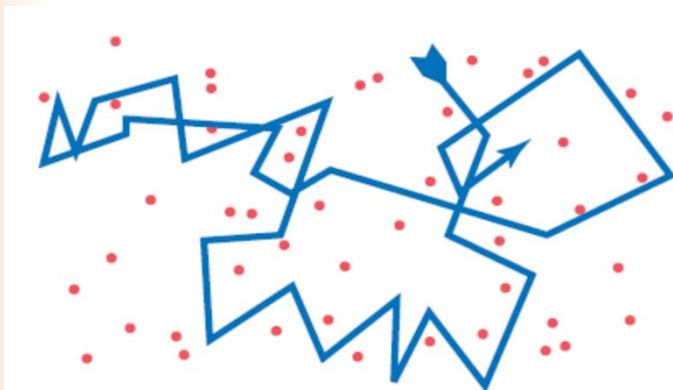
ذرات و مولکول‌های مختلف که خارج یا داخل سلول هستند بخاطر وجود انرژی حرارتی و گرما دارای انرژی جنبشی می‌باشند. حرکت ذرات باعث برخورد به هم و دیواره‌ی ظرف می‌شود و انرژی‌شان را به همدیگر منتقل می‌کنند، به هم جهت می‌دهند و سرعتشان کم یا زیاد می‌شود و این حرکت تنها زمانی که دما صفر (صفر مطلق) باشد متوقف می‌شود. در بدن دمای ۳۷ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود.

پس در دمای ۳۷ درجه بدن ذرات انرژی جنبشی دارند و دایما در بدن حرکت می‌کنند بنابراین اگر یک آمپول پنی سیلین به عضله سرینی شخصی زده شود در همان جا نمی‌ماند و در تمام مایع خارج سلولی انتشار پیدا می‌کند. غلظت مایع در تمام بدن یکسان است پس در همه جای بدن بطوریکه‌خواخت منتشر می‌شود.

نکته: انتشار جهت ندارد چون حرکت تصادفی است اما انتشار خالص جهت دارد (نت دیفیوژن). انتشار از جای غلیظ به رقیق هم از رقیق به غلیظ و هم برعکس انتشار صورت می‌گیرد چون انتشار جهت ندارد. ولی وقتی به عنوان ناظر بیرونی نگاه می‌کنیم، مشاهده می‌کنیم طرفی که غلیظ بود رقیق شده و نهایتاً غلظت یکسانی ایجاد می‌شود، پس نتیجه می‌گیریم حرکت مواد از سمت غلیظ به رقیق، انتشار خالص نامیده می‌شود. اینکه انتشار جهت ندارد را در ذهن داشته باشید.

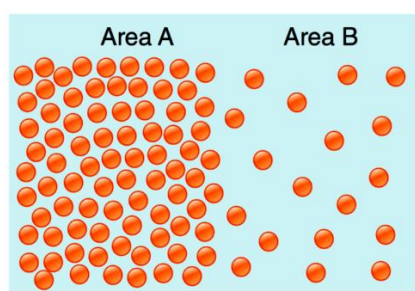


از آنجایی که معمولا وقتی صحبت از انتشار میکنیم منظورمان انتشار خالص است؛ وقتی اشاره‌ای به انتشار می‌شود آن را جهت‌دار در نظر می‌گیریم. ولی مفهوم انتشار به تنهایی جهت ندارد (با این مفهوم در آینده کار خواهیم داشت).



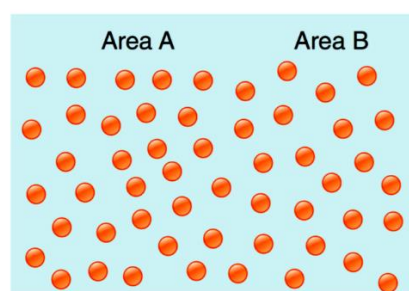
انتشار یک حرکت تصادفی است و ذرات می‌توانند هم از غلیظ به رقیق و هم از رقیق به غلیظ بروند. بنابراین در هر دو جهت جریان وجود دارد. عمده جریان از غلیظ به رقیق است تا به تعادل برسد.

1: Net diffusion



→ Diffusion from area A to area B
← Diffusion from area B to area A
→ Net diffusion

(a) Diffusion



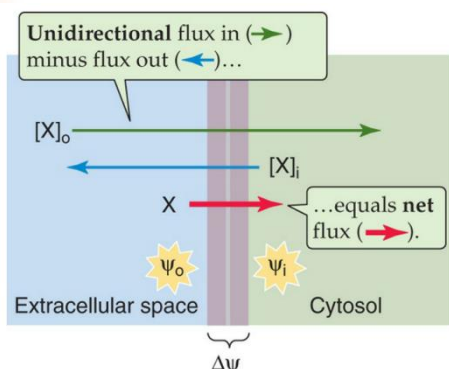
→ Diffusion from area A to area B
← Diffusion from area B to area A
No net diffusion

(b) Dynamic equilibrium

در شکل بالا در طی انتشار ذرات بیشتری از چپ به راست می‌رود و ذرات کمتری از راست به چپ می‌رود و انتشار خالص تفاضل جبری این دو مقدار است.

در حالت تعادل مقدار جابجایی برابر می‌شود و انتشار خالص (net diffusion) به صفر می‌رسد. در حالیکه انتشار خالص همواره وجود دارد. برای مثال همچنان در پتانسیل استراحت می‌بینیم که یون‌ها وارد و خارج می‌شوند.

حال می‌خواهیم انتشار در غشا را بررسی کنیم:

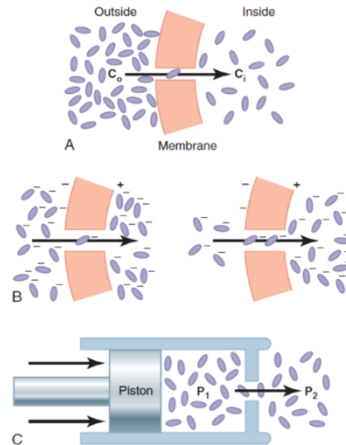


انتشار برای ماده‌ای مطرح است که بتواند از غشا عبور کند. اگر غشا نسبت به ماده نفوذپذیر باشد و اختلاف غلظت وجود داشته باشد، ماده به نسبت بیشتری از جای غلیظ به جای رقیق می‌رود.



عوامل موثر بر مقدار انتشار

- ۱- هرچه اختلاف غلظت ماده، حلالیت ماده و مساحت سطح غشا بیشتر باشد، انتشار بیشتر رخ می‌دهد و هر چه ضخامت غشا و وزن مولکولی بیشتر باشد، انتشار کمتر است.
- ۲- اگر ماده در حال انتشار یون باشد، بار الکتریکی آن هم در میزان انتشار اثر دارد
- ۳- اگر ماده در حال انتشار گاز باشد، فشار گاز هم در میزان انتشار اثر دارد.

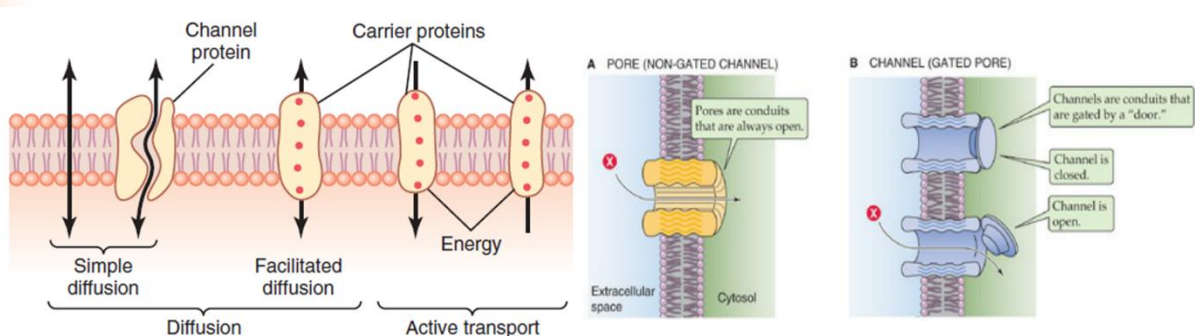


اما به طور کلی عبور مواد از غشا به دو روش فعال (active) و غیرفعال (passive) صورت می‌گیرد.

انتشار غیرفعال سه حالت دارد:

- ۱- انتشار ساده برای مواد محلول در چربی
- ۲- انتشار ساده برای مواد محلول در آب: در صورتی که کانالی برای عبور آنها در غشا وجود داشته باشد مثل پل داخل و خارج سلولی یا پروتئین آکوپورین در سلول‌های گیاهی
- ۳- انتشار تسهیل شده: توسط پروتئین ناقل انجام می‌شود. مانند کانال است با این تفاوت که ماده به پروتئین ناقل متصل می‌شود و باعث تغییر شکلی در پروتئین ناقل شود تا انتقال ماده صورت بگیرد. در حالیکه در کانال هیچ واکنش ترکیب شدنی صورت نمی‌گیرد. مانند گلوکز و اسید آمینه.

نکته: در واقع پروتئین‌های ناقل کانال‌های دریچه‌داری هستند که هیچگاه هر دو دریچه باهم باز نیستند. اگر توانستیم با دستکاری در پروتئین هر دو دریچه آن را باز نگه داریم، دیگر به آن ناقل نمی‌گوییم و کانال نامیده می‌شود



در سلول‌ها یکسری کانال وجود دارند که کانال‌های اختصاصی عبور آب هستند. انواع مختلف دارد و تعداد آن بستگی به نیاز سلول به آب تغییر می‌کند. اگر نیاز به آب کم شود اندوسیتوز می‌کنند و اگر نیاز به آب زیاد شود ژن‌های تولید آن فعال می‌شود. این کانال‌ها بسیار ریز هستند و به صورت یک ستون از مولکول‌های آب از آن عبور می‌کنند.

مولکول دیگری از این کانال‌ها امکان عبور ندارد. این کانال‌ها در سال‌های اخیر کشف شدند. در گذشته این طور بیان میشد که مولکول‌های آب به دلیل وزن بسیار کم از غشا مستقیماً عبور می‌کند و همچنین می‌توانند از کانال‌های دیگر هم عبور کنند.

بقیه مواد هم می‌توانند کانال داشته باشند مثل سدیم و پتاسیم. اولین عامل تمایز کانال‌ها اندازه است و کانال برای کوچکترین ماده‌ای است که بتواند از آن عبور کند به طور کلی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ماده‌ای اگر با کانال مشابه باشد می‌تواند عبور کند.

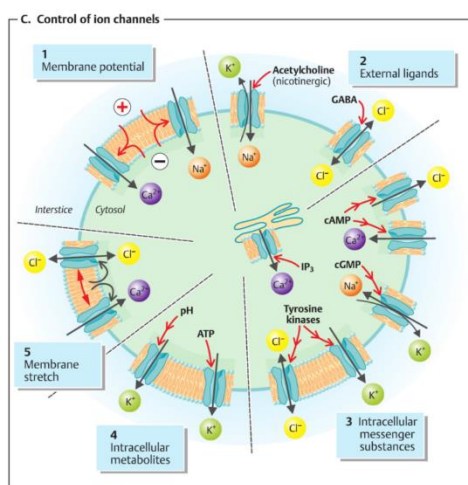
این کانال‌ها معمولاً اختصاصی برای یک یون هستند ولی گاهی یون‌های مشابه دیگری هم عبور می‌کنند. کانال‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱- این کانال‌ها تمام وقت نفوذپذیرند. به آن کانال‌های نشتی یا همیشه باز می‌گویند.

۲- میزان نفوذپذیری این کانال‌ها تغییر می‌کند. این کانال‌ها اصطلاحاً کانال دریچه‌دار نامیده می‌شوند. دریچه ممکن است وجود داشته باشد یا نباشد که معمولاً هم دریچه‌ای وجود ندارد.

بعضی از کانال‌ها به تغییرات شیمیایی محیط پاسخ می‌دهند. برای مثال تغییرات هورمون، pH یا سایر تغییرات شیمیایی. به این نوع کانال‌ها، کانال لیگاندی گفته می‌شود. در نتیجه بر اساس گایتون، کانال‌های دریچه‌دار به سه دسته کانال‌های ولتاژی، لیگاندی و مکانیکی تقسیم می‌شوند.

نکات اضافه استاد: (استاد کشاورز تاکید کردند این نکات اضافه است و نیاز به یادگیری آنها نیست) از نظر ایشان کانال‌های دریچه‌دار به دو دسته کانال‌های فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. برای مثال کانال‌های وابسته به ولتاژ یا وابسته به نور در دسته کانال‌های دریچه دار فیزیکی طبقه‌بندی می‌شوند. کانال‌های دریچه‌دار شیمیایی نیز می‌توانند لیگاند داخل یا خارج سلولی داشته باشند و حتی جنس لیگاند در طبقه‌بندی کانال موثر است.



○ نکته: پروتئین‌ها تنها موادی در حیات هستند که می‌توانند بدون تغییر ماهیت، شکل خود را تغییر دهند.



انتشار تسهیل شده

تفاوت انتشار تسهیل شده با کانال‌های دریچه‌دار لیگاندی در این است که ماده منتقل شده برهمکنشی با خود کانال ندارد. برای مثال در کانال لیگاندی استیل کولین، استیل کولین با کانال برهمکنش ایجاد می‌کند و باعث باز شدن کانال و عبور سدیم می‌شود، اما سدیم برهمکنشی با کانال ندارد. از آن سو، ناقل‌ها مانند کانال‌های دریچه دار وابسته به لیگاندی هستند که لیگاند آنها همان ماده ایست که از آنها عبور می‌کند.

انتشار تسهیل شده بر خلاف انتشار ساده اشباع پذیر است که علت آن محدود بودن توانایی پروتئین ناقل در جابجا کردن مواد است. (علی رغم اشباع ناپذیر فرض شدن انتشار ساده در کتاب‌ها و مراجع، منطقی است که خود غشا نیز ماکسیمم داشته باشد و نتواند بیشتر از آن انتشار ساده انجام دهد، به همین دلیل انتشار ساده نیز در بینهایت دارای V_{max} است)

علاوه بر اشباع پذیر بودن، پروتئین‌های ناقل کاملاً اختصاصی عمل می‌کنند. برای مثال ناقل گلوکز فقط D_Glucose را جابجا می‌کند و به L_Glucose واکنشی نمی‌دهد. از این خاصیت می‌توان در بالین نیز استفاده کرد. مثلاً پنی سیلین پروتئین ناقلی دارد که توسط انتشار تسهیل شده از توپول‌های کلیه دفع می‌شود. زمانی که می‌خواهیم پنی سیلین مدت زمان بیشتری در بدن باقی بماند، می‌توانیم همراه آن پروبنسید تزریق کنیم که مکانیسم دفع آن مشابه پنی سیلین است. آنگاه این دو دارو برای دفع شدن با هم رقابت می‌کنند و ظرفیت کمتری از ناقل به دفع پنی سیلین اختصاص پیدا خواهد کرد و اینگونه دفع پنی سیلین کاهش می‌یابد.

چرا حداکثر انتقال در نمودار نشان داده نمی‌شود / چرا گفته می‌شود حداکثر مقدار در بدن نداریم؟
چون در شرایط فیزیولوژی در حال بررسی هستیم

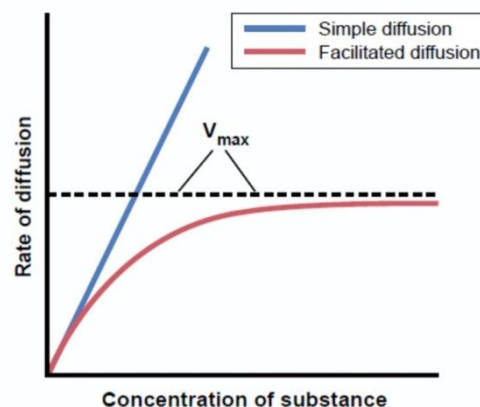
خط افقی در نمودار اختلاف غلظتی است که می‌تواند در بدن وجود داشته باشد و فرد زنده بماند

به عنوان مثال اختلاف غلظتی که می‌توانیم برای گلوکز، سدیم و کلر داشته باشیم تا فرد سالم بماند به سرعت ماکسیمم نمی‌رسد. ولی اگر در شرایط آزمایشگاهی غشای مصنوعی داشته باشیم که بتوانیم هرچقدر خواستیم غلظت را زیاد کنیم. پس به مقدار انتقال حداکثر می‌رسیم و ظرفیت کانال انتقال دهنده پر می‌شود.

در نتیجه در شرایط پاتولوژیک خارج بدن می‌توانیم به سرعت ماکسیمم برسیم اما در داخل بدن فرد و حتی شرایط فیزیوپاتولوژی فرد بیمار تا زمانی که زنده است به آن نمی‌رسیم

○ نکته: در انتشار ساده V_{max} نداریم

با پروتئین ناقل چه فعال چه غیرفعال سرعت ماکسیمم به عنوان یک تفاوت عمده بیان می‌شود





انتقال فعال

در انتشار، انرژی توسط خود ماده و توسط شیب غلظت و انرژی جنبشی آن تامین می‌شود. در انتقال فعال انرژی لازم برای جابجایی، انرژی جنبشی نیست. بلکه در جهت عکس عمل می‌کند؛ البته نه همیشه. اینجا انرژی توسط ATP تامین می‌شود.

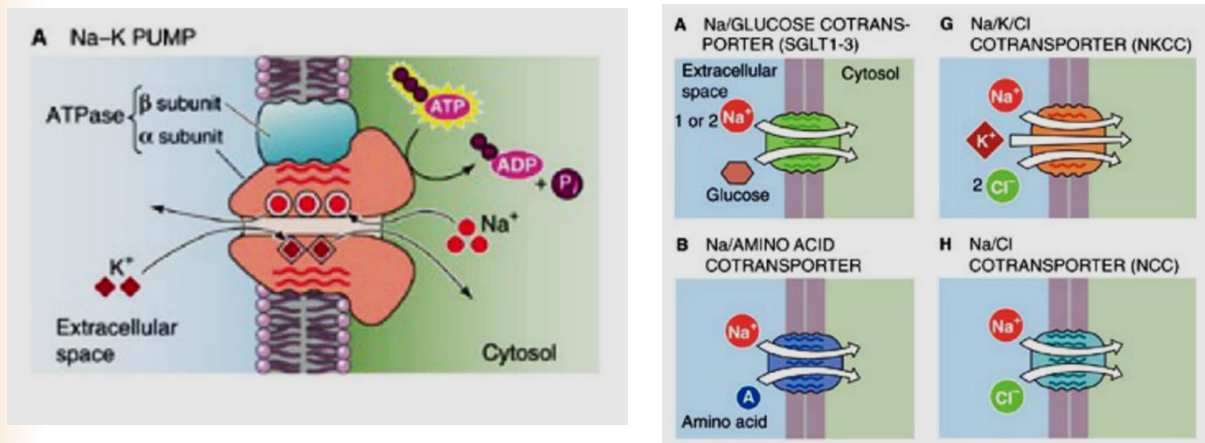
بسته به نحوه تامین انرژی که پروتئین ناقل مستقیماً از ATP انرژی تامین می‌کند یا به طور غیر مستقیم، انتقال فعال دو گروه می‌شود:

۱- انتقال فعال اولیه (پمپ): پروتئین ناقل در اینجا مستقیماً ATP را تجزیه می‌کند.

۲- انتقال فعال ثانویه: پروتئین ناقل تجزیه مستقیم ATP ندارد و از انرژی پتانسیلی که توسط ATP تولید شده است؛ استفاده می‌کند.

در حالت دوم، به عنوان مثال پمپ سدیم-پتاسیم در جای دیگری در حال فعالیت است و شیب غلظتی برای یون‌های سدیم و پتاسیم ایجاد می‌کند. این شیب غلظت ایجاد شده توسط ATP برای انتقال مواد دیگر نیز استفاده می‌شود.

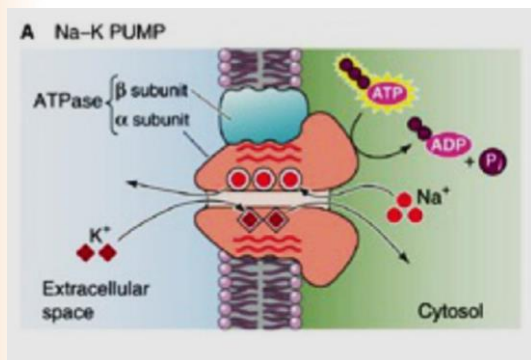
به طور مثال سدیم دائماً به غشا برخورد می‌کند، که غلظت آن در خارج سلول بیشتر است و بیشتر برخورد می‌کند. در نتیجه سدیم به دنبال مسیری برای ورود به سلول است. از آنجا که سدیم قطبی است از غشا به طور مستقیم عبور نمی‌کند. بنابراین اگر کانالی باشد از آن عبور می‌کند یا اگر پروتئین ناقلی باشد به رستور آن متصل می‌شود. از این انگیزه سدیم برای انتقال فعال ثانویه استفاده می‌شود و موادی مانند اسیدآمینه که برخلاف شیب غلظت عبور می‌کنند، همراه شیب غلظت سدیم عبور می‌کنند. این حالت در همه سلول‌های بدن اتفاق می‌افتد ولی در سلول‌های کلیه و روده بیشتر رخ می‌دهد.



مهم‌ترین انتقال فعالی که در همه سلول‌ها وجود دارد، پمپ سدیم-پتاسیم است.

با مصرف یک ATP سه سدیم را از سلول خارج و دو پتاسیم را به سلول وارد می‌کند.

نتیجه عملکرد پمپ: پتاسیم در داخل سلول و سدیم در خارج سلول زیاد می‌شوند و اختلاف غلظت یونی به وجود می‌آید



پروتئین ناقل در تصویر دارای یک کانال و دو دریچه است

تفاوتش با شکل قبل در این است که یک جایگاه گیرنده ATP دارد که باعث تجزیه آن به ADP و فسفات می‌شود و از انرژی ATP برای تغییر شکل استفاده می‌شود.

در انتشار تسهیل شده صرفاً با چسبیدن گلوکز به ناقل گلوکز، تغییر شکل کافی را ایجاد شده و گلوکز منتقل می‌شود و انرژی از انرژی جنبشی خود گلوکز تامین می‌شود. اما در پمپ، ماده نه تنها انرژی تولید نمی‌کند؛ بلکه انرژی مصرف می‌کند.

نکته: در پمپ معمولاً در خلاف غلظت در حال جابجایی است نه همیشه!

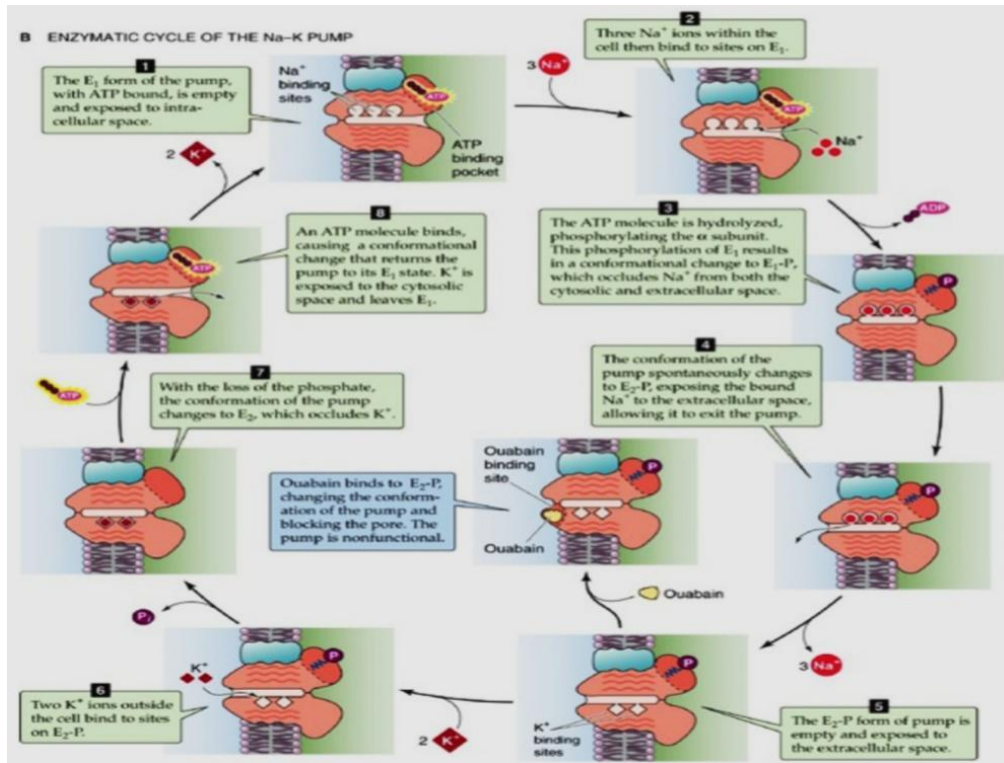
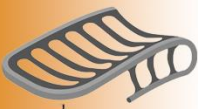
این انتقال با مصرف انرژی و در دو مرحله انجام می‌شود (خروج سدیم و ورود پتاسیم و هر دو در خلاف شیب غلظت)

در انسان این پمپ سه به دو است اما در حیوانات می‌تواند به نسبت‌های دیگر هم وجود داشته باشد در غشای میتوکندری پمپ سدیم-پتاسیم متفاوت و خاصی داریم که با استفاده از انرژی حاصل از اختلاف غلظت، فسفات را به ADP می‌چسباند و تولید ATP می‌کند.

چرخه مراحل پمپ:

- ۱- دریچه سمت بیرون بسته و سمت داخل باز است
- ۲- سه جایگاه گیرنده با میل ترکیبی بالا برای سدیم وجود دارد و ATP روی آن قرار دارد
- ۳- با سه سدیم ظرفیت تکمیل و ATP تجزیه می‌شود (تغییر شکل فضایی به وجود هر دو نیاز دارد).
- ۴- دریچه بیرونی باز، میل ترکیبی از بین رفته و سدیم آزاد می‌شود
- ۵- در ادامه‌ی تغییر شکل فضایی، جایگاه‌های گیرنده پتاسیم باز می‌شوند و میل به پتاسیم ایجاد شده و پتاسیم می‌چسبد.
- ۶- دریچه بیرونی بسته و داخلی باز می‌شود
- ۷- میل به ترکیب پتاسیم از بین می‌رود و آزاد می‌شود

نکته: در پمپ علاوه بر جایگاه گیرنده ATP و سدیم و پتاسیم جایگاه‌های دیگری هم وجود دارند. مثلاً ouabain می‌تواند به سمت خارج سلولی پمپ بچسبد و پروتئین تجزیه کننده ATP را در این مرحله فیکس کند و چرخه را در این مرحله متوقف می‌کند



پمپ کلسیم:

در اکثر سلول‌ها خصوصاً قلبی و عضلانی وجود دارد

با مصرف ATP کلسیم را عبور می‌دهد

پمپ پروتون:

در کلیه در دفع اوره و معده در ترشح اسید نقش دارد

انتقال فعال ثانویه:

از انرژی پتانسیلی که در اثر اختلاف غلظت و کارکرد پمپ سدیم-پتاسیم ذخیره شده، استفاده می‌کند. معمولاً یک سمت کار بر عهده سدیم است.

اگر در سوالی دیدید که در مکانیزمی سدیم به علاوه ماده دیگری قرار دارد، انتقال فعال ثانویه می‌باشد.

مثال‌ها:

هم انتقالی سدیم و گلوکز

هم انتقالی اسید آمینه و سدیم

هم انتقالی سدیم پتاسیم و کلر

هم انتقالی سدیم و کلر

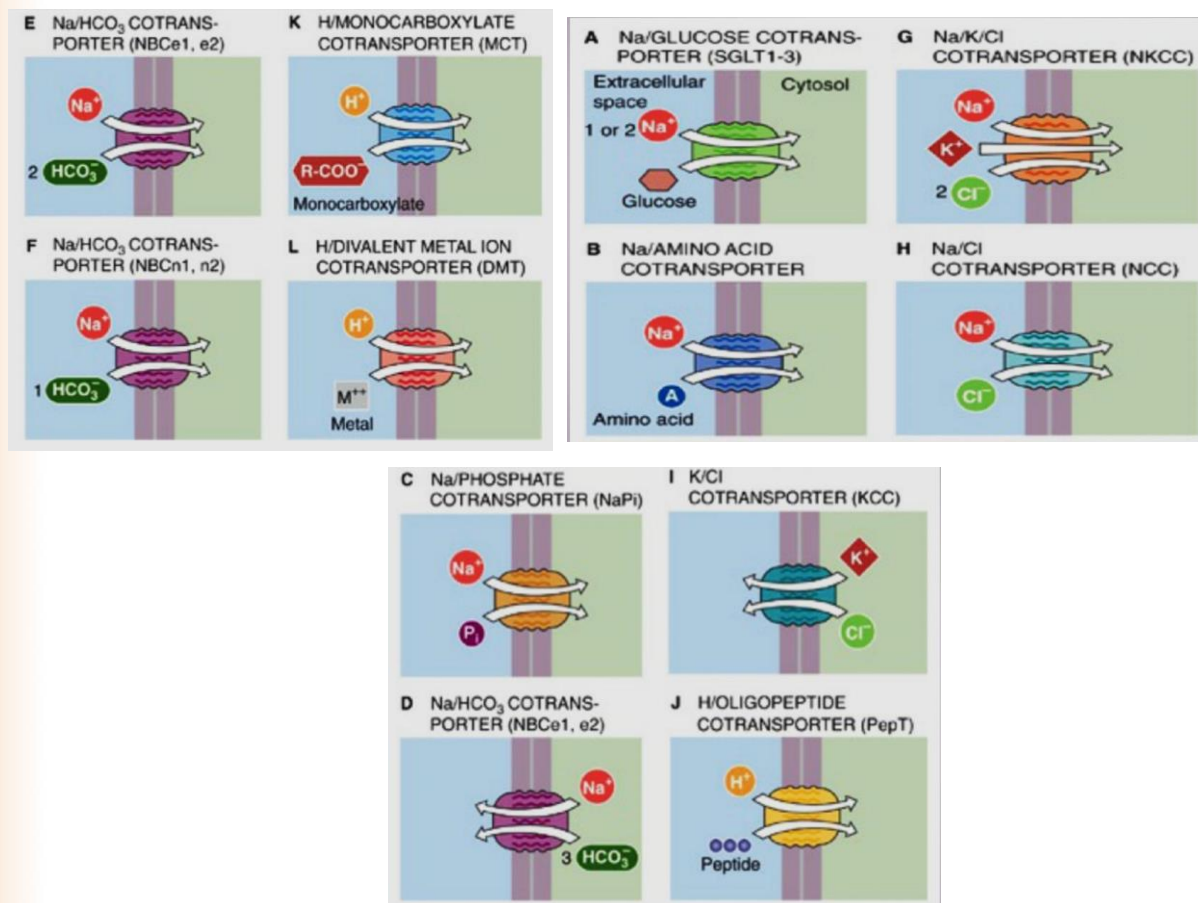
و انواع مختلف دیگر ...



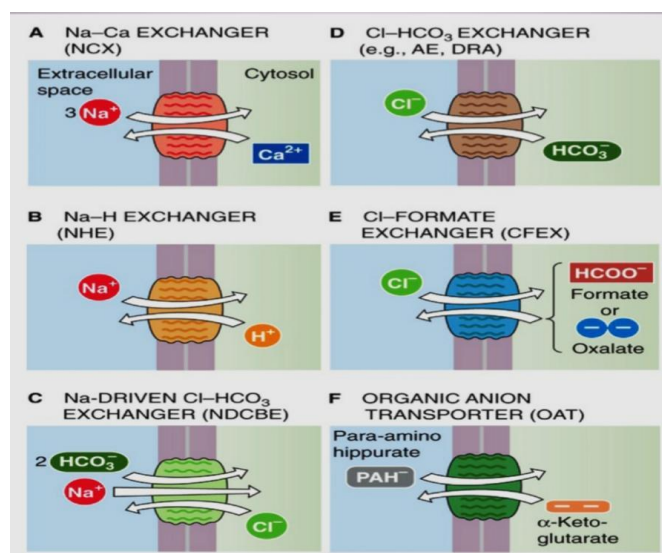
نکته: در اکثر مواقع انتقال فعال بر خلاف شیب غلظت است اما گاهی در جهت آن می‌باشد و برای افزایش سرعت انتقال استفاده می‌شود. (انتقال به روش تسهیل شده در حال انجام است اما به سرعت بیشتری نیاز داریم پس از انرژی برای افزایش سرعت استفاده می‌کنیم)

انتقال فعال ثانویه به دو صورت انجام می‌شود

۱. هم انتقالی یا cotransport: ماده یا مواد مورد نظر در جهت یون سازنده انرژی (معمولا یون سدیم، گاهی پتاسیم و گاهی پروتون) منتقل می‌شوند

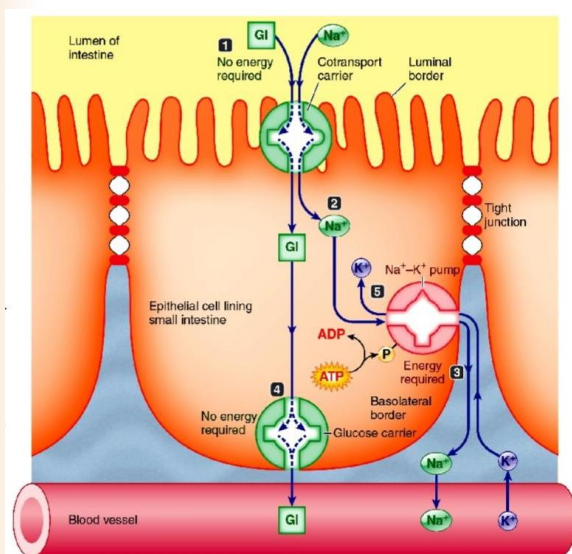


۲. مبادله‌گر یا exchanger: یون تولید کننده انرژی در جهت مخالف با مواد دیگر جابجا می‌شود. یون در جهت شیب غلظت و ماده انتقالی در خلاف جهت آن می‌باشد.





نکته: در بعضی از آنها مقدار باری که جابجا می‌کنند باهم برابرند. مثل پمپ کمر و بیکربنات که یک یون منفی خارج و یک یون منفی وارد می‌شود. پس پروتئین خنثی است و عمل آن در پتانسیل غشا تاثیری نمی‌گذارد.



پمپ کلسیم-پتاسیم سه بار مثبت وارد و دوبار مثبت خارج می‌کند و تعادل یونی برقرار نیست به ازای هر انتقال، یک بار مثبت به داخل سلول اضافه می‌کند

پمپ سدیم-پتاسیم سه بار مثبت خارج و دوبار مثبت وارد می‌کند با هر انتقال، یک بار مثبت به خارج سلول اضافه می‌شود یا به عبارتی یک بار منفی به داخل. به این نوع پمپ‌ها چه در انتقال فعال اولیه و چه ثانویه، الکتروژنیک گفته می‌شوند.

در سلول پوششی یک غشا به نام brush border در سمت روده یا توبول‌های کلیه و یک غشای قاعده‌ای جانبی در سمت مایع بین سلولی داریم. مواد جذب شده باید از این غشا عبور کنند. در این مکانیسم عبور، در هم انتقالی سدیم گلوکز (فعال ثانویه) در غشای راسی برای افزایش سرعت، پروتئین ناقل تسهیل شده گلوکز و پمپ سدیم-پتاسیم، شرکت می‌کنند. پس جذب گلوکز و نمک هر دو اتفاق می‌افتند چون سدیم به همراه گلوکز وارد می‌شود اما بعد توسط پمپ سدیم پتاسیم خارج و جذب خون می‌شود. با جذب گلوکز و نمک، آب هم در اثر اسمز جذب می‌شود

نکته: به طور کلی برای انتشار ساده از چربی غشا و کانال استفاده می‌شود

نکته: انتشار تسهیل شده توسط پروتئین ناقل صورت می‌گیرد

نکته: انتقال فعال اولیه وقتی خود پروتئین ATPase است

نکته: انتقال ثانویه وقتی خود پروتئین ATPase نیست و از انرژی پتانسیل یون‌ها دارای اختلاف غلظت در دو سوی غشا استفاده می‌کند.