



فصل اول تنظیم عصبی

وجود جریان الکتریکی در یاخته‌های عصبی که نورون نامیده می‌شوند، امکان ثبت نوار مغزی را مهیا می‌سازد، در واقع نوار مغزی جریان الکتریکی ثبت شده نورون‌های مغزی است.

- یاخته‌های بافت عصبی**
- پشتیبان (نوروگلیا):** تعداد بیشتری از نورون‌ها دارند و در ایجاد داربست برای استقرار نورون‌ها، دفاع از آنها و حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف نورون‌ها نقش دارند.
 - حسی:** پیام‌ها را از گیرنده‌های حسی به مغز و نخاع می‌آورند و آکسون کوتاه و دندریت بلند دارند.
 - حرکتی:** پیام‌ها را از مغز و نخاع به سوی اندام‌ها می‌برند و آکسون بلند و دندریت‌های کوتاه دارند.
 - نورون**
 - رابط:** ارتباط لازم بین یاخته‌های عصبی حسی و حرکتی را فراهم می‌کنند.

گفتار ۱ یاخته‌های بافت عصبی



بافت عصبی از یاخته‌های عصبی و یاخته‌های پشتیبان (نوروگلیاها) تشکیل شده است. یک یاخته عصبی از یک جسم یاخته‌ای، یک آکسون و یک یا چند دندریت تشکیل می‌شود. یاخته‌های عصبی سه عملکرد دارند: این یاخته‌ها تحریک پذیرند و پیام عصبی تولید می‌کنند؛ آنها این پیام را هدایت و به یاخته‌های دیگر منتقل می‌کنند.

نکته ۱

دارینه (دندریت) رشته‌ای است که پیام‌ها را دریافت و به جسم یاخته عصبی وارد می‌کند. **آسه (آکسون)** رشته‌ای است که پیام عصبی را از جسم یاخته عصبی تا انتهای خود که پایانه آسه نام دارد، هدایت می‌کند. پیام عصبی از محل پایانه آسه یک یاخته عصبی به یاخته دیگر منتقل می‌شود. جسم یاخته‌ای محل قرار گرفتن هسته و انجام سوخت و ساز یاخته‌های عصبی است و می‌تواند پیام نیز دریافت کند.

نکته ۲

هر نورون تنها دارای یک جسم یاخته‌ای و یک آکسون است اما می‌تواند واجد تعدادی دندریت و پایانه آکسونی باشد. به عبارت ساده‌تر استفاده از عبارت «آکسون‌های یک نورون» نادرست است! ضمناً هرگاه در یک نورون چندین رشته عصبی به جسم یاخته‌ای متصل باشد یکی از این رشته‌ها خروجی [آکسون] می‌باشد و سایر آنها، ورودی [دندریت] اند.



نکته ۳



بخش عمده مادهٔ ژنتیک سلول عصبی، درون هسته و در جسم یاخته‌ای قرار گرفته است. به علاوه چون در جسم یاخته‌ای، تعداد زیادی راکیزه (میتوکندری) وجود دارد، محلی برای انجام سوخت و ساز یاخته‌های عصبی محسوب می‌شود. به علاوه جسم یاخته‌ای می‌تواند پیام عصبی را دریافت کرده و آنرا به سمت آکسون هدایت کند اما قابلیت انتقال پیام عصبی را به یاختهٔ بعدی ندارد.

نکته ۴



در یک نورون، هسته که محل قرارگیری مادهٔ ژنتیک اصلی است، تنها در جسم یاخته‌ای قرار دارد؛ یعنی درون دندریت، آکسون و پایانه‌های آکسونی، هسته مشاهده نمی‌شود. ضمناً میتوکندری‌ها هم در جسم یاخته‌ای و هم در رشته‌های متصل به آن، به ویژه در محل پایانهٔ آکسونی، دیده می‌شوند و از آنجا که درون میتوکندری نیز، مولکول دنا وجود دارد، می‌توان گفت: «بخش عمدهٔ مادهٔ ژنتیک یاختهٔ عصبی در جسم یاخته‌ای قرار دارد.» اما نمی‌توان گفت: «همهٔ مادهٔ ژنتیک یک یاختهٔ عصبی، در جسم یاخته‌ای دیده می‌شود.»

نکته ۵

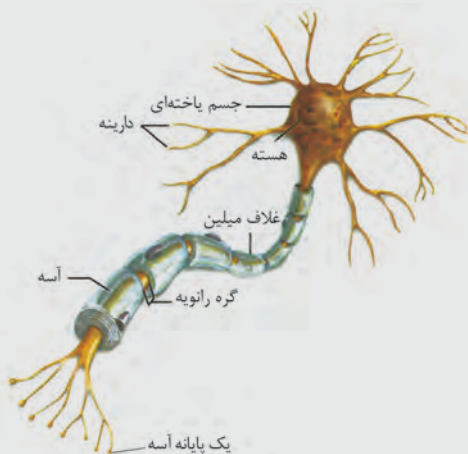


از آنجا که مادهٔ ژنتیک در هستهٔ همهٔ سلول‌های هسته‌دار بدن مشابه است، می‌توان گفت: «در هستهٔ همهٔ یاخته‌های دیپلوئید بدن، ژن‌های مربوط به تولید میلین وجود دارد؛ اما این ژن‌ها در هیچ یاخته‌ای به جز انواعی از یاخته‌های پشتیبان، بیان نمی‌شود.» در واقع، نورون‌ها دارای ژن مربوط به میلین هستند، اما این ژن در آنها بیان نمی‌شود.

نکته ۶



این یاختهٔ عصبی که شکل آن را می‌بینید، پوششی به نام **غلاف میلین** دارد. غلاف میلین، رشته‌های آسه و دارینهٔ بسیاری از یاخته‌های عصبی را می‌پوشاند و آنها را عایق‌بندی می‌کند. غلاف میلین پیوسته نیست و در بخش‌هایی از رشته قطع می‌شود. این بخش‌ها را **گره رانویه** می‌نامند. میلین و گره‌های رانویه در افزایش سرعت هدایت پیام‌های عصبی، نقش بسیار مهمی دارند.

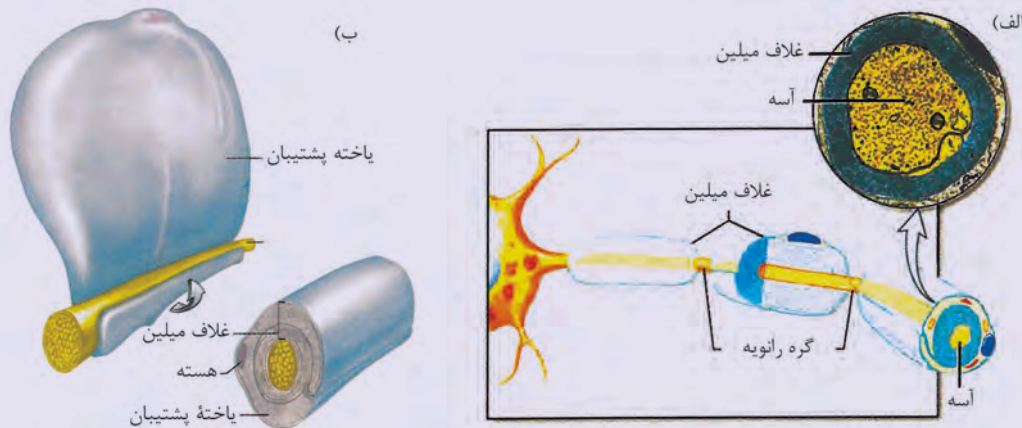


شکل ۱- یاختهٔ عصبی



نکته ۷

غلاف میلین را یاخته‌های پشתיبان بافت عصبی می‌سازند. برای تشکیل غلاف میلین، یاخته پشתיبان به دور رشته عصبی می‌پیچد و غلاف میلین را به وجود می‌آورد. تعداد یاخته‌های پشתיبان چند برابر یاخته‌های عصبی است و انواع گوناگونی دارند. این یاخته‌ها داربست‌هایی را برای استقرار یاخته‌های عصبی ایجاد می‌کنند؛ آنها در دفاع از یاخته‌های عصبی و حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف آنها (مثل حفظ مقدار طبیعی یون‌ها) نیز نقش دارند.



شکل ۲ - الف) غلاف میلین

ب) چگونگی ساخت آن

نکته ۸

بافت عصبی دارای دو نوع یاخته عصبی و غیرعصبی است که در آن تعداد یاخته‌های غیرعصبی که پشתיبان یا نوروگلیا نامیده می‌شوند از تعداد یاخته‌های عصبی یعنی نورون‌ها بیشتر است و نوار مغزی تنها، جریان الکتریکی ثبت شده نورون‌های مغزی است. به عبارت دیگر اولاً نوار مغزی از یاخته‌های پشתיبان (نوروگلیاها) ثبت نشده است و ثانیاً نوار مغزی تنها مربوط به نورون‌های مغز است نه سایر بخش‌های دستگاه عصبی مثل نخاع! بنابراین با توجه به اینکه تعداد یاخته‌های پشתיبان چند برابر یاخته‌های عصبی است، می‌توان گفت نوار مغزی، جریان الکتریکی ثبت شده از بعضی از یاخته‌های موجود در مغز است.

نکته ۹

اغلب یاخته‌های تشکیل‌دهنده بافت عصبی فاقد آکسون و دندریت بوده و قابلیت انتقال پیام عصبی را ندارند؛ چون اغلب این یاخته‌ها، یاخته‌های پشתיبان‌اند.

نکته ۱۰

غلاف میلین، یاخته نوروگلیای بسیار نازک شده‌ای است که به صورت چند لایه در اطراف بخشی از آکسون یا دندریتِ طولی، پیچیده است و هسته این یاخته نیز، در بخش بیرونی آن، دیده می‌شود و گره‌های رانویه، در واقع فواصل بین این یاخته‌هاست.



نکته ۱۱

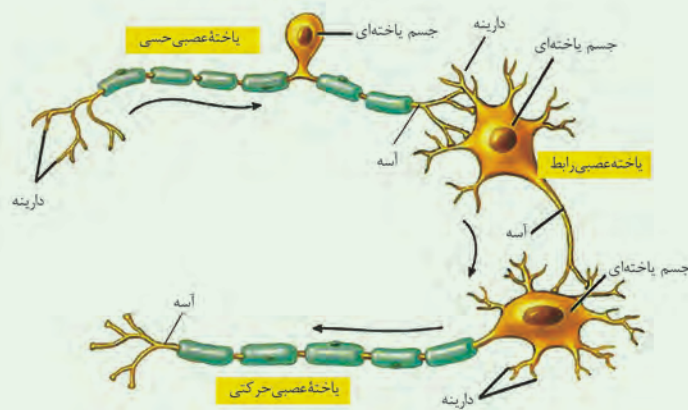


دقت به این نکته ضروری است که یاخته‌های نوروگلیا، جزء یاخته‌های بافت عصبی محسوب می‌شوند؛ اما یاخته عصبی به حساب نمی‌آیند. در واقع می‌توان گفت: «انواعی از یاخته‌های بافت عصبی، قادر به تولید میلین‌اند، انواعی می‌توانند نقش دفاعی داشته باشند و یا قادر به تشکیل داربست‌اند.» اما نمی‌توان گفت: «یاخته‌های عصبی [یعنی نورون‌ها] دارای این قابلیت‌هااند.» ضمناً با توجه به این نکته که یاخته‌های نوروگلیا دارای نقش‌های متعددی مثل دفاع، ایجاد هم‌ایستایی و ایجاد داربست‌اند، نمی‌توان گفت: «در اطراف یاخته‌های فاقد میلین، هیچ نوع یاخته پشتیبانی دیده نمی‌شود.» در واقع در اطراف یاخته‌های عصبی فاقد میلین، یاخته‌های پشتیبان سازنده غلاف میلین دیده نمی‌شوند؛ اما یاخته‌های نوروگلیایی که دارای قابلیت‌هایی مثل دفاع‌اند، می‌توانند در اطراف یاخته‌های عصبی فاقد میلین، وجود داشته باشند.

انواع یاخته‌های عصبی

یاخته‌های عصبی می‌توانند حسی، حرکتی و یا رابط باشند. یاخته‌های عصبی حسی پیام‌ها را به سوی بخش مرکزی دستگاه عصبی (مغز و نخاع) می‌آورند. یاخته‌های عصبی حرکتی پیام‌ها را از بخش مرکزی دستگاه عصبی به سوی اندام‌ها (مانند ماهیچه‌ها) می‌برند. نوع سوم یاخته‌های عصبی، یاخته‌های عصبی رابط‌اند که در مغز و نخاع قرار دارند. این یاخته‌ها ارتباط لازم بین یاخته‌های عصبی را فراهم می‌کنند. هر سه نوع یاخته عصبی می‌توانند میلین‌دار یا بدون میلین باشند.

نکته ۱۲



شکل ۳ - انواع یاخته‌های عصبی

در ارتباط با شکل فوق که مربوط به نورون‌های نخاع است می‌توان گفت:

- ۱ جسم یاخته‌ای یک نورون می‌تواند به یک یا چند زائده سیتوپلاسمی اتصال داشته باشد که اگر یکی باشد (مثل نورون‌های حسی نخاع) بلافاصله پس از خروج از جسم یاخته‌ای به یک آکسون و یک دندریت تقسیم می‌شود و اگر چند تا باشد یکی آکسون و بقیه دندریت است. ۲ در یاخته‌های عصبی حسی، دندریت بلندتر از آکسون است و هم دندریت و هم آکسون، دارای میلین‌اند. ۳ از جسم یاخته‌ای نورون‌های حسی، تنها یک زائده سیتوپلاسمی به طور مستقیم خارج می‌شود که بلافاصله پس از خروج، به آکسون و دندریت تقسیم می‌شود. ۴ یاخته‌های عصبی رابط، میلین ندارند و دارای آکسونی‌اند که تا حدی از دندریت‌ها بلندتر است. ۵ در یاخته‌های عصبی حرکتی، آکسون از دندریت‌ها بلندتر است و برخلاف آنها، دارای میلین می‌باشد.



نکته ۲



هرگاه عنوان شود در یک نورون نخاعی، هم آکسون و هم دندریت، دارای میلین است، آن نورون، نورون حسی است؛ هرگاه عنوان شود در یک نورون نخاعی، دندریت‌ها و آکسون فاقد میلین‌اند، آن نورون، نورون رابط است و هرگاه عنوان شود در یک نورون نخاعی، آکسون برخلاف دندریت‌ها، دارای میلین است، به نورون حرکتی اشاره شده است. ضمناً نورونی که در آن، دندریت میلین داشته باشد اما آکسون فاقد میلین باشد، نداریم!

نکته ۳



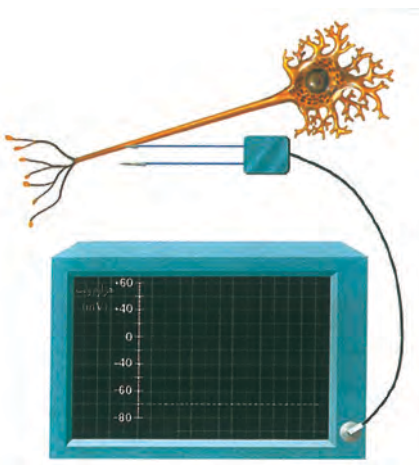
از آنجا که رشته‌های میلین‌دار، دارای سرعت هدایت پیام عصبی بیشتری از رشته‌های بدون میلین‌اند، می‌توان گفت: در نورون‌های حسی نخاع و همچنین نورون‌های رابط آن، سرعت هدایت پیام عصبی در آکسون و دندریت برابر است، اما سرعت هدایت پیام عصبی در آکسون و دندریت نورون‌های حسی و آکسون نورون‌های حرکتی نخاع، بیش از سرعت آن در دندریت‌های نورون‌های حرکتی و آکسون و دندریت‌های نورون‌های رابط نخاعی است. ضمناً در نورون‌های حرکتی نخاع، سرعت هدایت پیام عصبی در آکسون، بیش از دندریت‌ها است و از آنجا که در بیماری MS، میلین آسیب می‌بیند، می‌توان گفت: «در مبتلایان به MS، جسم یاخته‌ای انواع نورون‌ها، پایانه‌های آکسون و گره‌های رانویه آسیب نمی‌بینند.»

نکته ۴



انتهای دندریت نورون‌های حسی، می‌تواند به عنوان گیرنده حسی عمل کند. مثلاً، انواع گیرنده‌های حسی موجود در پوست، مثل گیرنده‌های درد، فشار، گرما، سرما و لمس و همچنین گیرنده‌های بویایی، در واقع انتهای دندریت نورون‌های حسی‌اند. ضمناً هرگاه عنوان شود در یک نورون، تعداد آکسون و دندریت برابر است، آن نورون را حسی در نظر می‌گیریم. اما اگر عنوان شود در نورونی، تعداد دندریت‌ها بیشتر از آکسون است، آن نورون، رابط یا حرکتی است.

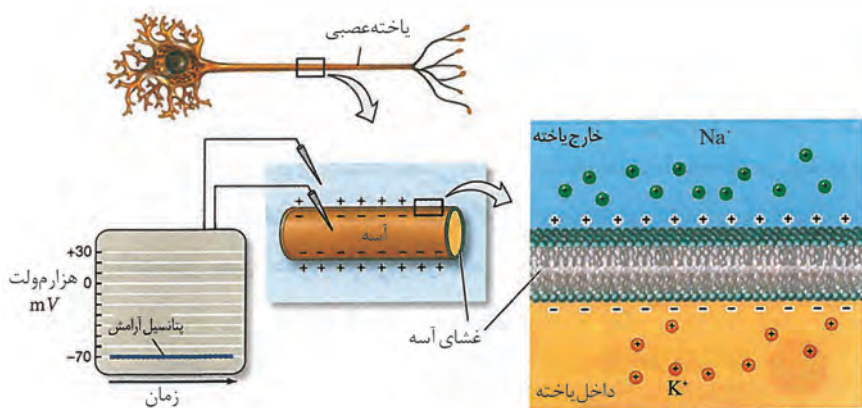
پیام عصبی چگونه ایجاد می‌شود؟



پیام عصبی در اثر تغییر مقدار یون‌ها در دو سوی غشای یاخته عصبی به وجود می‌آید. از آنجا که مقدار یون‌ها در دو سوی غشا، یکسان نیستند، بار الکتریکی دو سوی غشای یاخته عصبی، متفاوت است و در نتیجه بین دو سوی آن، اختلاف پتانسیل الکتریکی وجود دارد. شکل ۴، اندازه‌گیری این اختلاف پتانسیل را نشان می‌دهد.

شکل ۴ - اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سوی غشای یاخته عصبی

پتانسیل آرامش: وقتی یاخته عصبی فعالیت عصبی ندارد (حالت آرامش)، بار مثبت درون غشا از بیرون آن کمتر است و در دو سوی غشای یاخته اختلاف پتانسیلی در حدود -70 میلی‌ولت برقرار است (شکل ۵). این اختلاف پتانسیل را پتانسیل آرامش می‌نامند.



شکل ۵ - پتانسیل آرامش. در شکل، یون‌های پتاسیم در بیرون غشای یاخته‌های عصبی زنده از داخل آن بیشتر است و در مقابل، مقدار

نکته ۱



در حالت آرامش، مقدار یون‌های سدیم در بیرون غشای یاخته‌های عصبی زنده از داخل آن بیشتر است و در مقابل، مقدار یون‌های پتاسیم درون یاخته، از بیرون آن بیشتر است. در غشای یاخته‌های عصبی، مولکول‌های پروتئینی وجود دارند که به عبور یون‌های سدیم و پتاسیم از غشا کمک می‌کنند.

نکته ۲



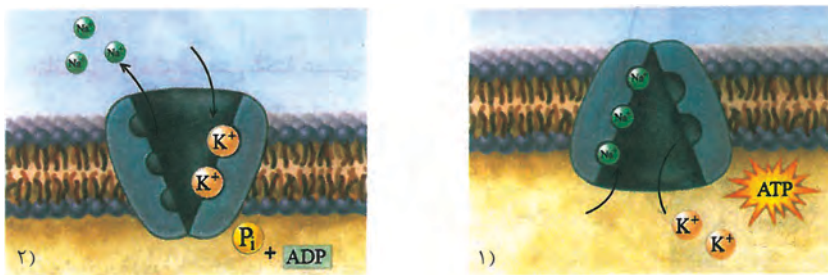
یکی از پروتئین‌های مؤثر در عبور یون‌های سدیم و پتاسیم، **کانال‌های نشستی** هستند که یون‌ها می‌توانند به روش انتشار تسهیل شده از آنها عبور کنند. از راه این کانال‌ها، یون‌های پتاسیم، خارج و یون‌های سدیم به درون یاخته عصبی وارد می‌شوند. تعداد یون‌های پتاسیم خروجی بیشتر از یون‌های سدیم ورودی است؛ زیرا غشا به این یون، نفوذپذیری بیشتری دارد.

نکته ۳



در زمان پتانسیل آرامش، یون‌ها از طریق کانال‌های بدون دریچه سدیمی و پتاسیمی که کانال‌های نشستی نیز نامیده می‌شوند، هم به سلول وارد و هم از آن خارج می‌شوند. اما به دلیل نفوذپذیری بیشتر کانال‌های نشستی نسبت به یون پتاسیم، میزان یون پتاسیمی که از سلول خارج می‌شود، بیش از میزان یون سدیمی است که به آن وارد می‌گردد. ضمناً در زمان پتانسیل آرامش، همه کانال‌های دریچه‌دار، بسته‌اند و پمپ سدیم - پتاسیم فعال است و با صرف انرژی و با انتقال فعال، یون‌های سدیم را به خارج و یون‌های پتاسیم را به داخل یاخته هدایت می‌کند.

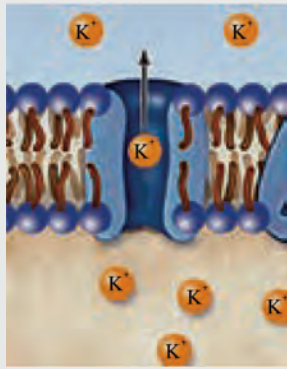
پروتئین دیگر مؤثر در عبور یون‌های سدیم و پتاسیم، **پمپ سدیم - پتاسیم** است. در هر بار فعالیت این پمپ پروتئینی، سه یون سدیم از یاخته عصبی خارج و دو یون پتاسیم وارد آن می‌شوند. این پمپ از انرژی مولکول ATP استفاده می‌کند (شکل ۶ ب).



شکل ۶ - ب) چگونگی کار پمپ سدیم - پتاسیم



نکته ۱



شکل ۶ - الف) کانال نشتی

علت برقراری پتانسیل آرامش، وجود کانال‌های نشتی و همچنین فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم است؛ بنابراین می‌توان گفت برای بروز پتانسیل آرامش هم فرآیند انتشار تسهیل شده و هم وقوع انتقال فعال ضروری است، طبق آنچه که در کتاب سال دهم مطالعه کرده‌اید در انتشار تسهیل شده، پروتئین‌های غشا انتشار مواد را تسهیل می‌کنند و مواد را در جهت شیب غلظت آنها از غشا عبور می‌دهند. توجه داشته باشید مولکول‌های پروتئینی که با انتشار یون‌های سدیم و پتاسیم در برقراری پتانسیل آرامش نقش اصلی را دارند، کانال‌های نشتی‌اند و این کانال‌ها فاقد دریچه‌اند.

نکته ۲



پمپ سدیم - پتاسیم در هر بار فعالیت خود با صرف انرژی یک مولکول ATP، سبب خروج ۳ یون سدیم از یاخته عصبی و ورود ۲ یون پتاسیم به آن می‌شود. به عبارت ساده‌تر ضمن هر بار فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم، یک مولکول ATP مصرف شده، یک مولکول ADP تولید می‌شود و اختلاف پتانسیل غشا به اندازه جابه‌جایی یک یون، یعنی معادل با ۲ بار مثبت تغییر می‌کند. توجه داشته باشید که وقتی سه یون سدیم از یاخته خارج و دو یون پتاسیم به آن وارد می‌شود، مانند آن است که به طور خالص یک یون از درون یاخته خارج شده است و در این حالت یکی از یون‌های مثبت درون، کاسته شده و یکی به یون‌های مثبت بیرون افزوده می‌شود و اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاخته به اندازه دو یون مثبت تغییر می‌کند.

نکته ۳



پمپ سدیم - پتاسیم، نوعی پروتئین سراسری غشا است که در عرض غشای مختلف بدن دیده شده و با صرف انرژی، قادر به جابه‌جایی یون‌های سدیم و پتاسیم است و دارای نقش آنزیمی می‌باشد. این پمپ با بخش‌های آبدوست و آبگریز غشا در تماس است و در غشای همه یاخته‌های عصبی، به برقراری تعادل یونی و ایجاد پتانسیل آرامش کمک می‌کند. پمپ سدیم - پتاسیم، همواره در حال فعالیت است؛ اما فعالیت آن بعد از وقوع پتانسیل عمل، افزایش می‌یابد.

فعالیت

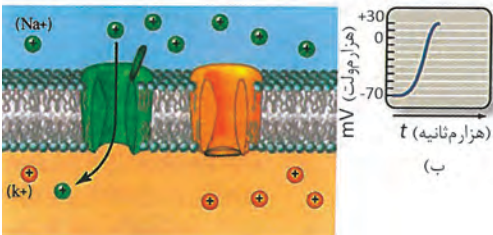
پمپ سدیم - پتاسیم با انتقال فعال و با صرف انرژی و کانال‌های نشتی با انتشار تسهیل شده و بدون صرف انرژی فعالیت می‌کنند. چون نفوذپذیری غشا، در حالت آرامش به یون‌های پتاسیم، بیشتر از سدیم است، تعداد یون‌های پتاسیم خروجی، بیشتر از یون‌های سدیم ورودی است و این امر سبب می‌شود بار مثبت درون یاخته‌های عصبی از بیرون آنها، کمتر باشد.



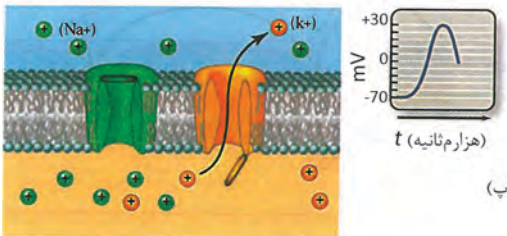
پتانسیل عمل



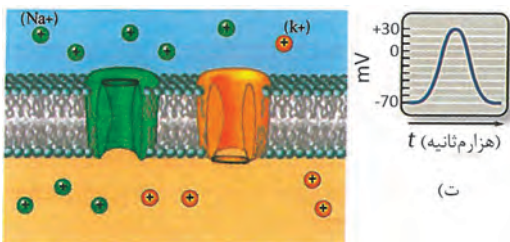
الف) وقتی یاخته عصبی در حال آرامش است، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی در آن بسته‌اند و کانال‌های نشستی و پمپ سدیم-پتاسیم، در حال فعالیت‌اند و غلظت یون سدیم در بیرون یاخته بیشتر از درون آن و غلظت یون پتاسیم در درون یاخته بیشتر از بیرون آن است و اختلاف پتانسیل دو سوی غشاء ۷۰- میلی ولت است.



ب) در غشای یاخته‌های عصبی، پروتئین‌هایی به نام **کانال‌های دریچه‌دار** وجود دارند که با تحریک یاخته عصبی باز می‌شوند و یون‌ها از آنها عبور می‌کنند. وقتی غشای یاخته تحریک می‌شود، ابتدا **کانال‌های دریچه‌دار سدیمی** باز می‌شوند و یون‌های سدیم فراوانی وارد یاخته و بار الکتریکی درون آن، مثبت‌تر می‌شود.



پ) پس از زمان کوتاهی کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند و **کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی** باز و یون‌های پتاسیم خارج می‌شوند.



ت) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی نیز پس از مدت کوتاهی بسته می‌شوند. به این ترتیب، دوباره پتانسیل غشا به حالت آرامش (۷۰-) برمی‌گردد. فعالیت بیشتر پمپ سدیم-پتاسیم موجب می‌شود غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا دوباره به حالت آرامش بازگردد.

شکل ۷ - چگونگی ایجاد پتانسیل عمل

وقتی یاخته عصبی تحریک می‌شود، در محل تحریک، اختلاف پتانسیل دو سوی غشای آن به طور ناگهانی تغییر می‌کند؛ داخل یاخته از بیرون آن، مثبت‌تر می‌شود و پس از زمان کوتاهی، اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، دوباره به حالت آرامش برمی‌گردد. این تغییر را **پتانسیل عمل** می‌نامند.

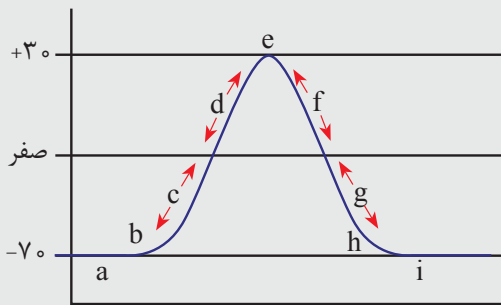
وقتی پتانسیل عمل در یک نقطه از یاخته عصبی ایجاد می‌شود، نقطه به نقطه پیش می‌رود تا به انتهای رشته عصبی برسد. این جریان را **پیام عصبی** می‌نامند (شکل ۸). رشته عصبی، آسه یا دارینه بلند است.

نکته ۱

بازگشت پتانسیل غشا به حالت آرامش به دنبال باز شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی و رسیدن غشا به پتانسیل ۷۰- میلی‌ولت رخ می‌دهد. اما بازگشت شیب غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم به حالت آرامش، با فعالیت بیشتر پمپ سدیم-پتاسیم صورت می‌پذیرد.



نکته ۲



موارد زیر را در ارتباط با نمودار مقابل به‌خاطر بسپارید:

a: پتانسیل آرامش

b: زمان باز شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی

e: زمان بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و باز شدن

کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی

h: زمان بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی

i: زمان فعالیت بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم

ضمناً در زمان‌های a و i هر دو کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته‌اند و در زمانی که نمودار از -۷۰ به سمت +۳۰ می‌رود کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز و پتاسیمی بسته‌اند و در زمانی که نمودار از +۳۰ به -۷۰ می‌آید کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز و سدیمی بسته‌اند.

نکته ۳

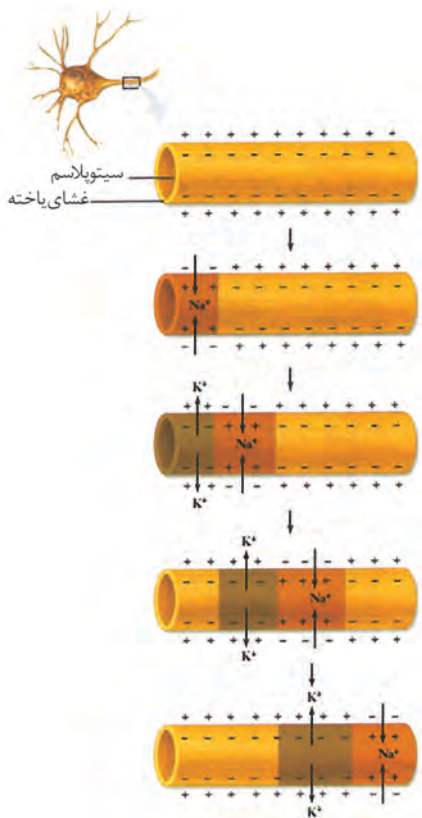


در نمودار پتانسیل عمل فوق، هر گاه به عدد صفر نزدیک می‌شویم، اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال کاهش است و هر گاه از این عدد دور می‌شویم، اختلاف پتانسیل دو سوی غشا در حال افزایش است. به عبارت دیگر در محدوده‌های زمانی c و f اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، در حال کاهش و در محدوده‌های زمانی d و g اختلاف پتانسیل دو سوی غشا، در حال افزایش است.

نکته ۴



در زمان وقوع پتانسیل عمل، اختلاف پتانسیل دو سوی غشا دو بار به ۶۰، دو بار به ۵۰ و دو بار به ۴۰ میلی‌ولت می‌رسد. ضمناً این اختلاف پتانسیل سه بار به ۳۰ میلی‌ولت و چهار بار به ۲۰ میلی‌ولت و چهار بار به ۱۰ میلی‌ولت می‌رسد و همچنین دو بار نیز اختلاف پتانسیل بین دو سوی غشا به صفر خواهد رسید.



شکل ۸ - هدایت پیام عصبی

نکته ۵



کانال‌های نشستی سدیمی و پتاسیمی همیشه بازند و این یون‌ها با انتشار تسهیل شده از این کانال‌ها می‌گذرند. اما کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی، در زمان پتانسیل آرامش بسته‌اند و تنها در زمان وقوع پتانسیل عمل باز می‌باشند. هر یک از کانال‌های دریچه‌دار، دارای یک دریچه‌اند که در زمان فعالیت این کانال‌ها باز می‌شود. دریچه‌های کانال‌های سدیمی، به سمت خارج غشای یاخته و دریچه‌های کانال‌های پتاسیمی به سمت داخل آن قرار گرفته است. به همین علت، هنگام عبور یون‌های سدیمی یا پتاسیمی از طریق کانال‌های دریچه‌دار، این یون‌ها از سمتی از کانال که دریچه در آن قرار گرفته است، به کانال وارد شده و از سمت فاقد دریچه آن، از کانال خارج می‌شوند.



کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی، کانال‌های نشتی و همچنین پمپ سدیم - پتاسیم، جزء پروتئین‌های سراسری غشا محسوب می‌شوند، در عرض غشا قرار گرفته‌اند و با بخش‌های آبدوست و آبگریز غشا در تماس‌اند.

خانم دکتر و آقای دکتر آینده توجه کنید:

پتانسیل آرامش و پتانسیل عمل

وقتی یافته‌های عصبی فعالیتی ندارند، افتلاف پتانسیلی در حدود -70mV در دو سوی غشای آنها برقرار است که این افتلاف پتانسیل را پتانسیل آرامش می‌نامند. در این حالت، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته‌اند؛ اما کانال‌های فاقد دریچه سدیمی و پتاسیمی که اصطلاحاً کانال‌های نشتی نامیده می‌شوند، باز هستند و یون‌های سدیم و پتاسیم، در حال عبور از این کانال‌ها به روش انتشار تسهیل شده می‌باشند. توجه به این نکته ضروری است که چون در حالت آرامش، مقدار یون‌های سدیم در بیرون غشای یافته‌های عصبی، از درون آن بیشتر و مقدار یون‌های پتاسیم درون یافته‌های عصبی از بیرون آن بیشتر است، یون‌های سدیم، تمایل بیشتری برای ورود به درون یافته‌های عصبی و یون‌های پتاسیم، تمایل بیشتری برای خروج از یافته‌های عصبی دارند. اما چون نفوذپذیری غشا در زمان پتانسیل آرامش به یون‌های پتاسیم، بیش از یون‌های سدیم است، میزان یون‌های پتاسیمی که از راه کانال‌های نشتی از یافته عصبی خارج می‌شوند، بیشتر از یون‌های سدیمی است که از طریق این کانال‌ها به یافته‌های عصبی وارد می‌شوند و نتیجه این عملکرد در کنار عملکرد پمپ سدیم - پتاسیم که در زمان پتانسیل آرامش نیز فعال است، سبب می‌شود که افتلاف پتانسیل موجود در دو سوی غشا در حدود -70mV باشد. وقتی یافته عصبی تحریک می‌شود، مثل وقتی که ناقل‌های عصبی تحریک کننده به گیرنده‌های فود متصل می‌شوند، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی موجود در غشای یافته عصبی باز می‌شوند و یون‌های سدیم از طریق این کانال‌ها و همچنین کانال‌های نشتی به درون یافته عصبی وارد می‌شوند. توجه داشته باشید که ورود یون‌های سدیم از طریق کانال‌های دریچه‌دار و نشتی به درون یافته‌های عصبی به روش انتشار تسهیل شده و بدون صرف انرژی است و سبب می‌شود بار الکتریکی درون یافته عصبی از بیرون آن مثبت تر شده و به حدود $+30\text{mV}$ برسد. در این حالت، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند و بلافاصله کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز می‌شوند و یون‌های پتاسیم از طریق این کانال‌ها و همچنین کانال‌های نشتی و به روش انتشار تسهیل شده از درون یافته عصبی خارج می‌شوند و این امر سبب می‌شود که بار مثبت درون غشا کاهش یابد و پتانسیل درون نورو از $+30\text{mV}$ به -70mV رسیده، به حالت آرامش برگردد. در این زمان کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، بسته می‌شوند و پتانسیل عمل فاصله می‌یابد. توجه داشته باشید که هر چند پس از پایان پتانسیل عمل، افتلاف پتانسیل دو سوی غشا -70mV بوده و همانند پتانسیل آرامش است؛ اما مقدار یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشای یافته، با مقدار این یون‌ها در حالت آرامش تفاوت دارد. یعنی در زمانی که پتانسیل عمل فاصله می‌یابد و دقیقاً در زمانی که کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌شوند، افتلاف پتانسیل دو سوی غشا با حالت آرامش برابر است، اما یون‌های سدیم درون نورو، بسیار بیشتر از حالت آرامش و یون‌های پتاسیم درون نورو، بسیار کمتر از حالت آرامش می‌باشند. به همین علت، پس از پایان پتانسیل عمل، پمپ سدیم - پتاسیم فعالیت بیشتری می‌کند تا غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا به حالت آرامش بازگردد.

توجه داشته باشید که چه در زمان باز بودن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و چه در زمان باز بودن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی و چه در زمان بسته بودن این کانال‌ها، پمپ سدیم - پتاسیم فعال است و با صرف انرژی موکول‌های ATP، یون‌های سدیم و پتاسیم را جابه‌جا می‌کند و در هر بار فعالیت فود، سه یون سدیم را به خارج و دو یون پتاسیم را به داخل نورو هدایت می‌کند اما بلافاصله پس از آنکه پتانسیل عمل پایان پذیرفت، فعالیت این پمپ افزایش می‌یابد [نه اینکه آغاز می‌شود]