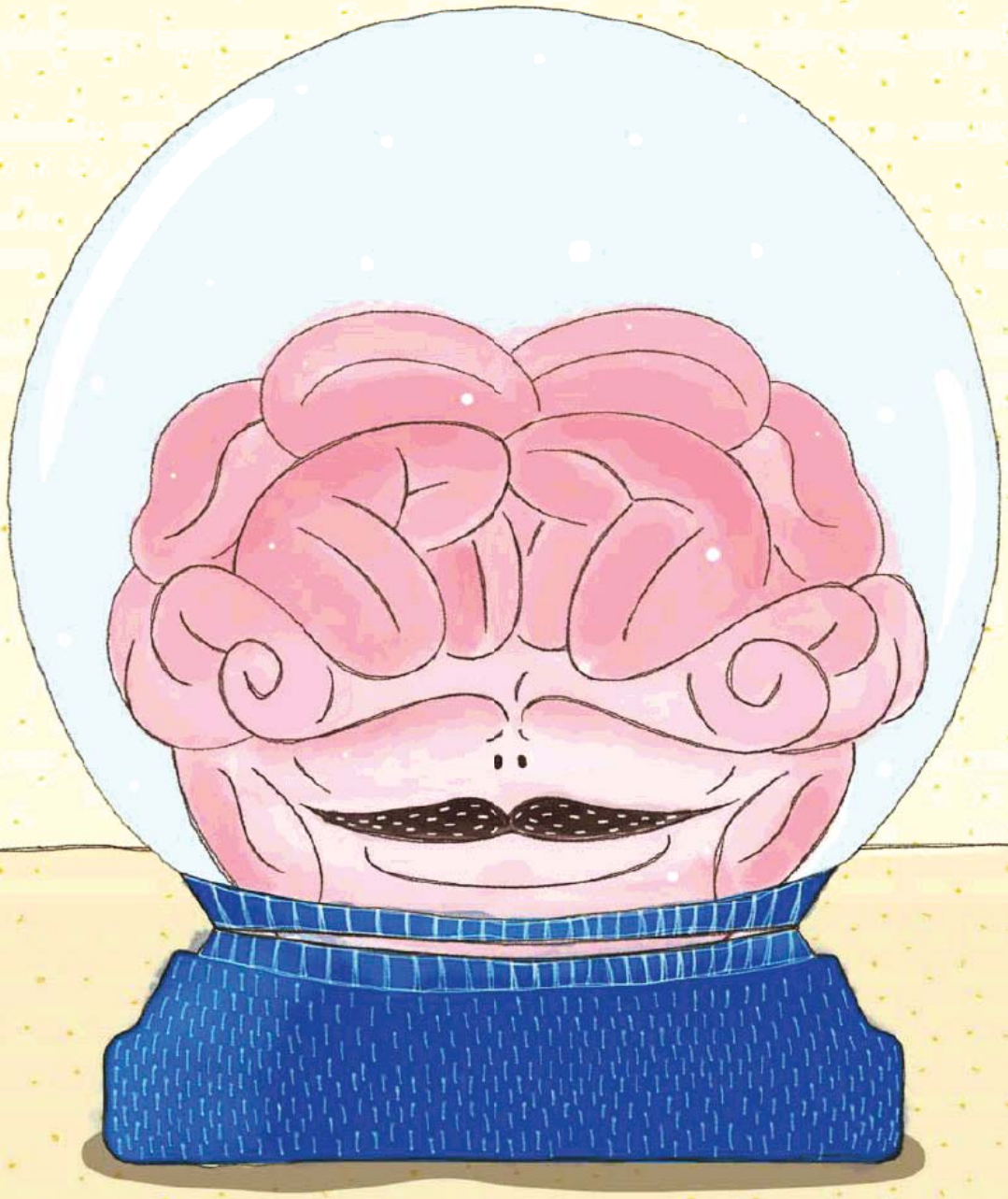
فهرست

فصل	درس‌نامه‌ها و تست‌ها	تست‌های ترکیبی	پاسخ‌نامهٔ تشریحی
تنظیم عصبی	۷	۷۲	۷۶
حواس	۱۰۶	۱۶۳	۱۶۶
دستگاه حرکتی	۱۸۹	۲۳۱	۲۳۶
تنظیم شیمیایی	۲۵۴	۲۹۶	۳۰۱
ایمنی	۳۲۳	۳۸۹	۳۹۳
تقسیم یاخته	۴۲۳	۴۹۰	۴۹۳
تولیدمثل	۵۲۵	۵۹۴	۵۹۸
تولیدمثل نهان‌دانگان	۶۲۷	۶۷۵	۶۸۰
پاسخ گیاهان به محرک ها	۷۰۸	۷۴۴	۷۴۸

نکته نکات حاشیه یادآوری ترکیب پاورقی مفهوم جمع‌بندی

فصل ۱

تنظیم عصبی



ساختار و انواع سلول‌های بافت عصبی

۱ اول این‌که در سال قبل خواندید که «دستگاه» سلول ← بافت (های شبیه به هم) ← اندام (های همکار) ← دستگاه (های مرتبط) این‌جوری به وجود می‌آید:

مثلن در دستگاه عصبی، مغز و نخاع هر کدام یک اندام هستند و از در کنار هم قرارگرفتن چند نوع بافت به وجود می‌آیند؛ پس این کلیت یادتون نره.

در سال قبل خواندید سلول‌های اصلی بافت عصبی، نورون‌ها هستند. در واقع بافت عصبی دو نوع سلول دارد:

- نورون‌ها: سلول‌هایی عصبی هستند.
- سلول‌های پشتیبان (نوروگلیاها): سلول‌هایی غیرعصبی هستند.

پس در بافت عصبی علاوه بر سلول عصبی، سلول غیرعصبی (پشتیبان) هم هست.

دقت کنید که بافت عصبی (سلول عصبی + سلول پشتیبان) به همراه بافت‌های غیرعصبی (پوششی و پیوندی)، اندام‌های عصبی مثل مغز و نخاع و اعصاب محیطی را می‌سازد.

۲ پس دستگاه عصبی از بافت عصبی و بافت‌های غیرعصبی ساخته شده است و بافت عصبی خودش دو نوع سلول دارد، سلول عصبی (نورون) و سلول غیرعصبی (نوروگلیا).

نورون

۳ ۳ ویژگی نورون‌ها (سلول‌های عصبیِ دستگاه عصبی) شامل **تحریک‌پذیری** از محرک و ایجاد پیام عصبی، **هدایت** پیام عصبی و **انتقال** پیام عصبی به سلول‌های دیگر است.

۱ گیرندهٔ حسی، سلول یا بخشی از سلول است که نسبت به محرک‌ها (گرما، نور، صدا، فشار و ...) تأثیرپذیر است و تحریک می‌شود، یعنی گیرندهٔ حسی بعد از این‌که اثر محرک را دریافت کرد، می‌تواند آن را به پیام عصبی تبدیل کند. *سعی کنید در زندگی‌تان فیلی آدم تحت تأثیری نباشید!*

پس تحریک‌پذیری گیرنده‌های حسی باعث ایجاد جریان عصبی می‌شود.

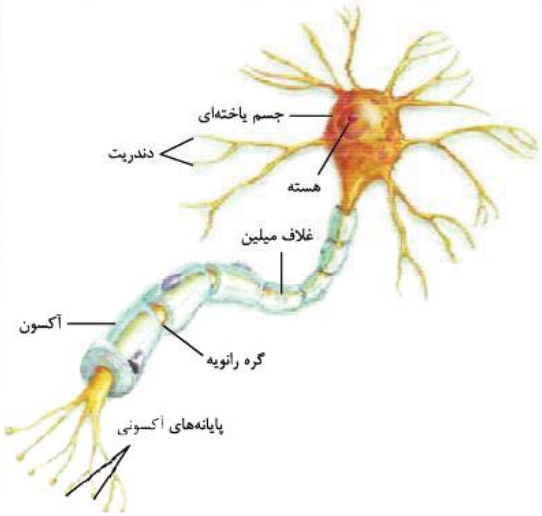
۲ نورون‌ها از یک منظر چیزی شبیه سیم رابط هستند که پیام عصبی را جابه‌جا می‌کنند. به حرکت پیام عصبی در طول یک سلول عصبی (نورون) هدایت جریان عصبی می‌گویند.

۳ به حرکت پیام عصبی از یک نورون به سلول دیگر، انتقال پیام عصبی می‌گویند. چرا نگفتیم از یک نورون به نورون دیگر؟ چون پیام عصبی می‌تواند به یک نورون یا یک سلول ماهیچه‌ای یا غده‌ها منتقل شود.

این ۳ خصوصیت فقط متعلق به سلول‌های عصبی یا نورون‌هاست، نه سلول‌های پشتیبان: ایجاد پیام عصبی، هدایت و انتقال آن.

نورون‌ها پیام عصبی را که نوعی پیام الکتریکی است، از محرک به دستگاه عصبی مرکزی می‌رسانند که البته خود دستگاه عصبی مرکزی هم از نورون ساخته شده است و در آن‌جا نورون‌ها پیام‌های عصبی را تفسیر و تحلیل می‌کنند و تصمیم می‌گیرند. نورون‌های دیگری این تصمیم را به عضلات (و غده‌ها) می‌رسانند.

وقتی شما دستتان را بلند می‌کنید، این نورون‌های شما هستند که دارند این کار را می‌کنند! وقتی شما فکر می‌کنید، این نورون‌هایتان هستند که دارند فکر می‌کنند! تقریبن هیچ انقباض و حرکتی در هیچ عضله‌ای (صاف، قلبی و مخطط) و هیچ ترشحی در هیچ جای بدن انجام نمی‌شود مگر به علت دستگاه عصبی! ضمن این‌که هیچ درک و شعوری نیست و هیچ ارتباطی با محیط نخواهد بود مگر به علت دستگاه عصبی که باعث و بانی آن است! خلاصه اگر دستگاه عصبی نباشد می‌شیم *جلبک و فلاص!*



۴ نورون‌ها مثل بقیهٔ سلول‌ها غشا و سیتوپلاسم دارند. هر نورون یک و فقط یک جسم سلولی دارد که دارای سیتوپلاسم بیشتری است. هستهٔ هر نورون که رهبری سلول را بر عهده دارد، در جسم سلولی آن قرار گرفته است. جسم سلولی محل انجام سوخت و ساز نورون‌ها هم هست. در جسم سلولی به وسیلهٔ میتوکندری انرژی تولید می‌شود و از این انرژی برای فعالیت‌های سلول و ساختن اجزای لازم برای سلول استفاده می‌شود.

نورون‌ها سلول‌هایی تک‌هسته‌ای هستند.

۲ نوع رشته از جسم سلولی نورون‌ها بیرون زده است: دارینه (دندریت) و آسه (آکسون).

- دارینه‌ها پیام را از محیط یا نورون قبلی دریافت می‌کنند و به جسم سلولی وارد می‌کنند. جسم سلولی هم پیام را به آسه می‌برد.
- آسه‌ها پیام را از جسم سلولی دور می‌کنند و آن را تا انتهای خود که پایانهٔ آکسون نام دارد، هدایت می‌کنند.

جهت حرکت پیام عصبی در یک نورون: دارینه ← جسم سلولی ← آسه

گفتیم که به حرکت پیام عصبی در طول یک نورون می‌گویند هدایت پیام عصبی (مسیر بالا). آن را با انتقال پیام عصبی اشتباه نگیرید.

جهت حرکت پیام عصبی در نورون‌ها به صورت کلاسیک! از دندریت به جسم سلولی و از جسم سلولی به آکسون است؛ یعنی دندریت پیام عصبی را از سلول عصبی قبلی دریافت می‌کند و به جسم سلولی هدایت می‌کند.

در کتاب می‌خوانیم جسم سلولی هم می‌تواند پیام عصبی دریافت کند؛ پس پیام عصبی از سلول‌های قبلی می‌تواند هم از طریق دندریت و هم از طریق جسم سلولی وارد نورون شود. بدیهی است پیامی که از طریق دندریت وارد نورون می‌شود، ابتدا به جسم سلولی و بعد به آکسون می‌رود اما پیامی که از طریق جسم سلولی وارد می‌شود، مستقیمن به آکسون می‌رود.

پیام بعد از آکسون به پایانهٔ آکسون می‌رود و از آن‌جا می‌تواند به یک نورون دیگر و یا یک سلول دیگر منتقل شود؛ پس **انتقال** پیام عصبی یعنی حرکت پیام عصبی از یک نورون به یک سلول دیگر از طریق پایانهٔ آکسون.

به نکات زیر هم توجه کنید:

۱ هر نورون فقط یک هسته، یک جسم سلولی و یک آسه دارد.

۲ یک نورون می‌تواند یک یا چند دارینه داشته باشد (بستگی به نوع نورونش دارد).

۳ هر چند همهٔ نورون‌ها فقط یک آکسون دارند اما پایانهٔ آکسون در همهٔ نورون‌ها متعدد است.

۴ نورون‌ها سلول‌هایی تمایزیافته و تک‌هسته‌ای هستند و تقسیم سلولی و تقسیم هسته (میتوز) به ندرت در آن‌ها رخ می‌دهد. به همین دلیل است که وقتی فردی سکته می‌کند یا قطع نخاع می‌شود، سلول‌های آسیب‌دیده یا مرده، معمولن به وسیلهٔ نورون‌های جدید جایگزین نمی‌شوند.

حواستان باشد که سلول عصبی و تار عصبی را با عصب اشتباه نگیرید. در علوم هشتم خواندیم به دندریت‌ها یا آکسون‌های بلند، **تار عصبی** می‌گویند. در حالی که مجموعه‌ای از تارها در کنار هم که توسط غلافی احاطه شده‌اند، **عصب** را تشکیل می‌دهند.

میلین

در علوم هشتم خواندیم که سلول‌های پشتیبان فعالیت عصبی ندارند و به نورون‌ها کمک می‌کنند. حالا این‌جا می‌خوانیم که چه کمکی می‌کنند. تعداد سلول‌های پشتیبان چند برابر سلول‌های عصبی است و انواع گوناگونی دارند. سلول پشتیبان به دور رشتهٔ عصبی پیچیده و غلاف میلین را می‌سازد. این سلول‌ها داربست‌هایی را برای استقرار سلول‌های عصبی ایجاد می‌کنند، هم‌چنین در دفاع از سلول‌های عصبی و حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف آن‌ها (مثل حفظ مقدار طبیعی یون‌ها) نقش دارند.

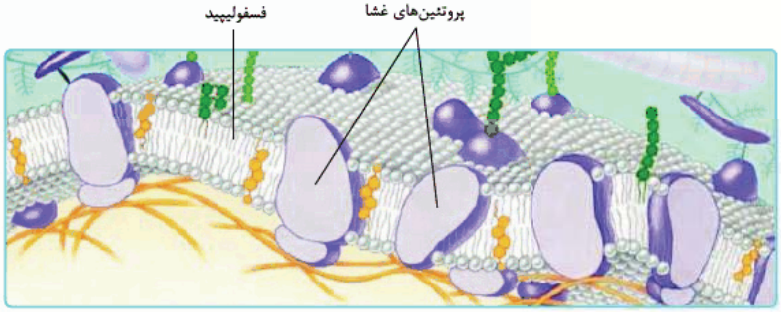
این جملهٔ مبهم کتاب درسی که انواعی از نوروگلیاها، داربست‌هایی برای استقرار سلول‌های عصبی ایجاد می‌کنند، از اون جمله‌هاست که بعید می‌دونیم کسی بتونه منظور رو از کتاب درسی بگیره! ولی ما بهتون می‌گیم که این جمله به دوران جنینی برمی‌گردد! زمانی که هنوز نورون‌ها تشکیل نشده‌اند، نوروگلیاها بستری (زمینه‌ای) را برای نورون‌ها ایجاد می‌کنند که نورون‌ها بفهمند در کجای آن بستر باید تشکیل شوند. نوروگلیاها، نورون‌ها را به مکان مناسبی که باید قرار بگیرند، هدایت می‌کنند.

در سال دهم خواندیم به مجموعهٔ اعمالی که برای پایدار نگه‌داشتن وضعیت درونی بدن انجام می‌شود، هم‌ایستایی (هومئوستازی) می‌گویند. در این‌جا می‌خوانیم سلول‌های پشتیبان به حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف نورون‌ها کمک می‌کنند و با این کار در واقع ترکیب شیمیایی آن را ثابت نگه می‌دارند. در واقع یکی از راه‌های حفظ هم‌ایستایی، حفظ تعادل بین یون‌ها (کنترل مقدار یون‌ها) است.

سلول‌های پشتیبان چند نوع هستند که بعضی از آن‌ها در دفاع از سلول‌های عصبی، بعضی در حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف سلول‌های عصبی، بعضی در ایجاد داربست برای سلول‌های عصبی (و بعضی در هر ۳تای این کارها!) و تعدادی در تشکیل غلاف میلین نقش دارند انواع سلول‌های پشتیبان شامل:

۱- سلول‌های سازندهٔ غلاف میلین: دو نوع هستند که یک نوع آن در دستگاه عصبی مرکزی و نوع دیگر در دستگاه عصبی محیطی، اطراف رشته‌های عصبی، میلین می‌سازند.

۲- سلول‌های ستاره‌ای‌شکل: در دستگاه عصبی مرکزی هستند و وظایفی مثل تغذیهٔ نورون‌ها، پاک‌سازی مغز و از بین بردن مواد زائد با فرایند بیگانه‌خواری و حفظ هم‌ایستایی مایع احاطه‌کنندهٔ نورون‌ها را بر عهده دارند. ایجاد داربست برای استقرار نورون‌ها هم وظیفهٔ این سلول‌ها است. این سلول‌ها بستری را تشکیل می‌دهند که نورون‌ها را در محل نگه می‌دارد.



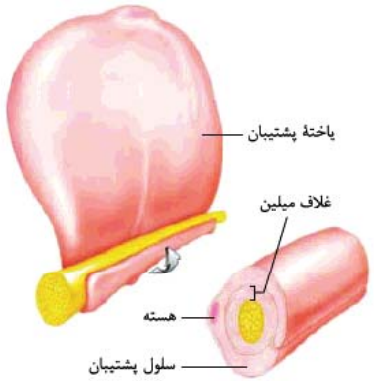
فسفولیپید + پروتئین را در غشای سلول می‌بینید.

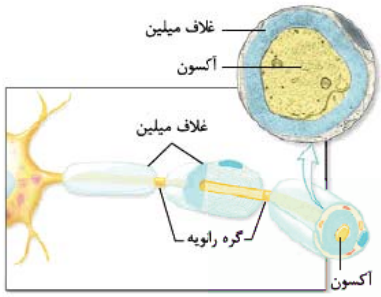
۳- ماکروفاژهای مستقر در دستگاه عصبی مرکزی: در دفاع از سلول‌های عصبی نقش دارند و با بیگانه‌خواری، سلول‌های آسیب‌دیده و میکروب‌های واردشده به مغز و نخاع را از بین می‌برند.

۷ آن دسته از سلول‌های پشتیبان که وظیفهٔ عایق‌کردن نورون‌ها را بر عهده دارند، با غشایشان دور **بسیاری** از رشته‌ها (آکسون و دندریت) می‌پیچند و غلافی از جنس غشای سلول ایجاد می‌کنند. این غلاف که مثل غشای سلول از جنس فسفولیپید + پروتئین است، **میلین** نام دارد.

بسیاری از نورون‌ها میلین دارند نه همهٔ آن‌ها.

۸ شکل ۲ قسمت «الف» خیلی خوب رابطهٔ غلاف میلین، سلول‌های پشتیبان و رشته‌ها (در این شکل آکسون) را نشان می‌دهد. در این نورون و نورون شکل ۱ می‌بینید که دندریت‌ها میلین ندارند اما آکسون میلین دارد. در شکل ۱ هم می‌بینید که چندین سلول پشتیبان پشت سر هم آکسون را در بر گرفته‌اند. با توجه به شکل ۲ قسمت «ب» می‌بینید که انگار سلول پشتیبان آکسون را کاملن در بر گرفته است.





در واقع غلاف میلین همان غشای سلول پشتیبان است که چندین دور، دور رشتهٔ عصبی به صورت غلاف پیچیده است.

۱- وقتی بسیاری از نورون‌ها میلین دارند، یعنی تعداد کمی از آن‌ها میلین ندارند، نه در آسه و نه در دارینه؛ اما این‌طور هم نیست که یک نورون میلین‌دار همیشه هم آسه و هم دارینه‌اش میلین داشته باشد، گاهی هر دو و گاهی یکی از رشته‌ها در نورون‌های میلین‌دار، میلین دارند.

۲- در یک نورون آسه و دارینه **می‌توانند** میلین داشته باشند، اما جسم سلولی و پایانه‌های آکسون در هیچ نورونی میلین ندارند.

مقطع عرضی یک تار عصبی (آکسون) دارای میلین

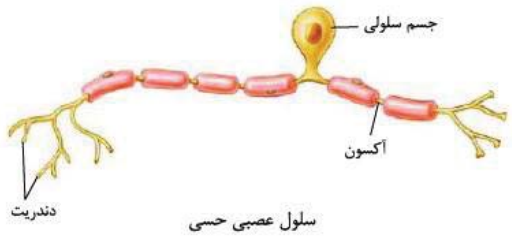
گفتیم میلین همان غشای سلول‌های پشتیبان است که دور رشته‌های سلول‌های عصبی پیچیده است. می‌دانید سلول پشتیبان نوعی سلول جانوری است و غشای آن همانند غشای همهٔ سلول‌های جانوری علاوه بر فسفولیپید و پروتئین، کلسترول دارد؛ پس میلین علاوه بر فسفولیپید و پروتئین، کلسترول هم دارد.

۹ در یک رشتهٔ میلین‌دار بین دو سلول پشتیبان، غلاف میلین وجود ندارد و در آن نقاط میلین قطع می‌شود (غلاف میلین پیوسته نیست). به فاصلهٔ بین دو سلول پشتیبان که در آن‌ها میلین وجود ندارد، **گره رانویه** می‌گویند. هر جا که گره رانویه هست یعنی غلاف میلین نیست و در آن‌جا غشای رشته (که همان غشای نورون است) با مایع بین‌سلولی اطراف در تماس است.

انواع سلول‌های عصبی (نورون‌ها)

۱۰ سلول‌های عصبی ۳ نوع هستند: حسی، حرکتی و رابط.

۱ سلول عصبی حسی:



سلول عصبی حسی

۱- به طور معمول پیام عصبی را از گیرنده‌های حس می‌گیرند و به دستگاه عصبی مرکزی (مغز و نخاع) می‌برند (چرا گفتیم به طور معمول! چون ممکن است نورون حسی خودش گیرنده باشد (دندریتش) و دیگر از هیچ گیرنده‌ای پیام دریافت نکند).

۲- جسم سلولی آن‌ها در دستگاه عصبی محیطی است.

۳- یک دندریت و یک آکسون دارند.

۴- دندریت آن‌ها بلندتر از آکسون آن‌ها است.

۵- آکسون و دندریتشان میلین دارد.

۶- هم در اعصاب حسی هستند و هم در اعصاب مختلط.

در علوم هشتم با عصب حسی آشنا شدید. آن‌جا خواندید عصب حسی، عصبی است که پیام را به مراکز عصبی (مغز و نخاع) می‌برد؛ پس عصب حسی دارای نورون‌های حسی است.

گیرندهٔ حسی خودش یک سلول یا بخشی از آن است که اثر محرک را دریافت و آن را به پیام عصبی تبدیل می‌کند. این پیام عصبی به نورون حسی منتقل می‌شود.

۲ سلول عصبی حرکتی:

۱- پیام را از دستگاه عصبی مرکزی به سلول ماهیچه‌ای یا غده‌ای می‌رساند.

۲- جسم سلولی آن در دستگاه عصبی مرکزی است (جلوتر می‌خوانید).

۳- دندریت‌های متعدد و فاقد میلین دارد.

۴- آکسون منفرد و دارای میلین دارد.

۵- آکسونش بسیار بلندتر از دندریت‌هایش است.

۶- هم در اعصاب حرکتی وجود دارد و هم در اعصاب مختلط.

سلول عصبی حرکتی

در علوم هشتم خواندید عصب حرکتی عصبی است که پیام را از مراکز عصبی (مغز و نخاع) دریافت کرده و به اندام‌هایی مثل دست و پا می‌برد؛ پس عصب حرکتی دارای نورون‌های حرکتی است که می‌تواند این کار را بکند!

۳ سلول عصبی رابط:

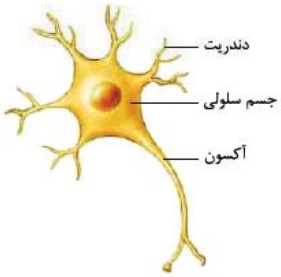
۱- بین سلول‌های عصبی حسی و حرکتی ارتباط برقرار می‌کند.

۲- پیام را از نورون‌های حسی می‌گیرند و به نورون‌های حرکتی می‌رسانند (رابط نورون حسی و حرکتی هستند).

۳- در مغز و نخاع هستند.

۴- آکسون منفرد و دندریت‌های متعدد دارند.

۵- آکسون و دندریت فاقد میلین دارند.



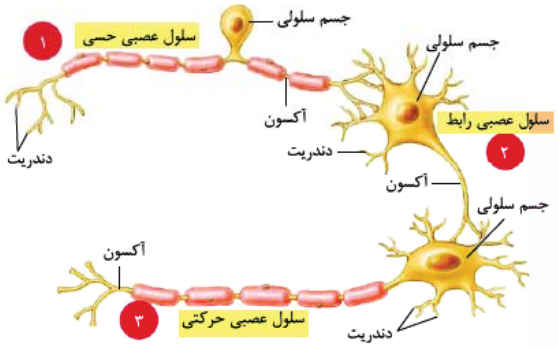
سلول عصبی رابط

۱- نورون‌های رابط میلین ندارند و سرعت هدایت پیام عصبی در آن‌ها کم است.

۲- نورون رابط معمولن از نظر اندازه کوتاه‌تر از نورون حسی و حرکتی است.

نام‌گذاری آکسون و دندریت در محدودهٔ کتاب درسی صورت گرفته است و با واقعیت علمی فاصله دارد، اما شما خودتان را ناراحت نکنید!

با توجه به شکل ۳ کتاب درسی رابطهٔ نورون حسی، رابط و حرکتی را متوجه می‌شوید. فرض کنید سوزنی به آهستگی! در نقطه‌ای از پای شما فرومی‌رود و در شما احساس درد به وجود می‌آورد. گیرنده‌های حسی در سلول‌های پوست، اثر محرکِ درد را دریافت کرده و به پیام عصبی تبدیل می‌کنند.



۱- این پیام عصبی از طریق نورون حسی منتقل می‌شود به نورون رابط در دستگاه عصبی مرکزی.

۲- می‌بینید که پایانهٔ آکسون نورون حسی پیام را به جسم سلولی نورون رابط (در مغز یا نخاع) می‌آورد. این پیام از طریق نورون رابط به نورون حرکتی منتقل می‌شود، از طریق پایانهٔ آکسون نورون رابط به جسم سلولی نورون حرکتی.

۳- نورون حرکتی این پیام را دریافت می‌کند (در واقع پیام مناسب برای واکنش مناسب را در مغز یا نخاع دریافت می‌کند) و آن را به ماهیچه‌ها می‌برد. وقتی این پیام به ماهیچه‌های پای ما برسد، ما پایمان را از حالتی که برایش ایجاد درد کرده بود، خارج می‌کنیم.

ساختار و انواع سلول‌های بافت عصبی

۱- کدام مورد برای تکمیل عبارت مقابل مناسب است؟ «هر سلول ..... در بافت عصبی، می‌تواند ..... .»

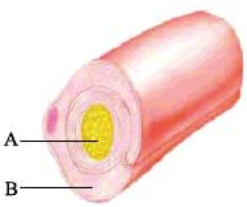
۱) عصبی ـ به دنبال تأثیر محرک حسی، پیام عصبی تولید نماید

۲) پشتیبان ـ به دور هر بخشی از نورون پیچیده و آن را عایق‌بندی کند

۳) عصبی ـ پیام عصبی را به نورون دیگری منتقل کند

۴) پشتیبان ـ بدون نیاز به هدایت پیام عصبی، به فعالیت‌های خود ادامه بدهد

۲- با توجه به شکل مقابل می‌توان گفت بخش ..... بخش ..... .



۱) A مانند ـ B، می‌تواند پیام تحریک را در طول خود هدایت نماید

۲) A برخلاف ـ B، موجب حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف خود می‌شود

۳) B مانند ـ A، در تماس مستقیم با مایع بین‌سلولی قرار می‌گیرد

۴) B برخلاف ـ A، جزء سلول‌های سازندهٔ بافت عصبی محسوب نمی‌شود

۳- هر رشته‌ای که از جسم سلولی نورون‌ها بیرون زده است، ..... .

۱) توسط لایه‌های غلاف میلین احاطه شده است
۲) پیام عصبی را دریافت کرده و به جسم سلولی می‌آورد
۳) پیام عصبی را از جسم سلولی تا انتهای خود هدایت می‌کند
۴) می‌تواند از طریق غشای سلولی با محیط پیرامون در ارتباط باشد

۴- چند مورد از موارد زیر جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در یاختهٔ عصبی ..... بخش دورکنندهٔ پیام از جسم سلولی، ..... و بخش نزدیک‌کنندهٔ پیام به جسم سلولی ..... است.»

الف ـ حرکتی ـ بلند ـ فاقد میلین
ب ـ حسی ـ دارای گره رانویه ـ بلند
ج ـ حرکتی ـ میلین‌دار ـ کوتاه
د ـ رابط ـ بلند و فاقد میلین ـ دارای انشعاب

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۵- کدام‌یک نادرست است؟

۱) غلاف میلین سبب افزایش تماس غشای سلولی رشتهٔ عصبی با محیط اطراف می‌شود.
۲) رشته‌های بیرون‌زده از جسم سلولی همگی دارای غشای پلاسمایی و سیتوپلاسم هستند.
۳) گره رانویه در فاصلهٔ بین دو سلول پشتیبان قرار دارد و در بسیاری از نورون‌ها دیده می‌شود.
۴) محل بیرون‌زدن دندریت و آکسون نورون‌های حسی از جسم سلولی، یکسان است.

۶- کدام مورد برای تکمیل عبارت مقابل نامناسب است؟ «وجود میلین در ..... دور از انتظار ..... .»

۱) دندریت نورون حسی مانند آکسون نورون حرکتی ـ نیست
۲) آکسون نورون رابط برخلاف دندریت نورون حسی ـ نیست
۳) دندریت نورون حرکتی مانند آکسون نورون رابط ـ است
۴) دندریت نورون رابط برخلاف آکسون نورون حسی ـ است

۷- هر رشته‌ای از نورون که ..... دارد، به طور حتم ..... است.

۱) غلاف میلین ـ فاقد هسته ۲) گره رانویه ـ واجد قدرت انتقال پیام ۳) قدرت هدایت پیام ـ عایق‌بندی‌شده ۴) سیتوپلاسم ـ نوعی دندریت

۸- هر بخشی از یاختهٔ عصبی که ....., می‌تواند ..... .

۱) پیام عصبی را به جسم سلولی هدایت می‌کند ـ پیام تحریک را به یاختهٔ دیگری منتقل نماید
۲) قدرت انتقال پیام به سلول‌های دیگر را دارد ـ در تمام طول خود با غلاف میلین پوشیده شود
۳) حاوی هسته و سیتوپلاسم است ـ به کمک سلول‌های پشتیبان بافت عصبی عایق‌بندی شود
۴) پیام عصبی را از جسم سلولی دور می‌کند ـ حداقل در بخشی با مایع بین‌سلولی در تماس باشد

۹- چند مورد از موارد زیر عبارت مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «در یک نورون ..... .»

الف ـ حسی، جسم سلولی بین دو غلاف میلین قرار دارد
ب ـ حرکتی، هر انشعاب ایجادشده در انتهای آکسون، توسط میلین عایق می‌شود
ج ـ رابط، در اطراف جسم سلولی چندین آکسون منشعب و میلین‌دار مشاهده می‌شود
د ـ حرکتی، هدایت جریان عصبی از انتهای سلول به یاختهٔ دیگر امکان‌پذیر است

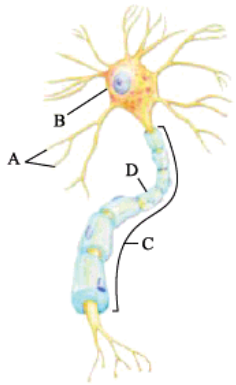
۱) ۴ ۲) ۳ ۳) ۲ ۴) ۱

۱۰- چند مورد از موارد زیر برای تکمیل عبارت مقابل مناسب است؟ «به طور معمول در نورونی که .....، تعداد دندریت ورودی به جسم سلولی و آکسون خروجی از آن با هم برابر ..... .»

الف ـ به دنبال تأثیر مستقیم محرک، تحریک می‌شود ـ است
ب ـ پیام عصبی را از مغز و نخاع خارج می‌کند ـ نیست
ج ـ پیام عصبی را بین یاختهٔ حسی و حرکتی منتقل می‌کند ـ است
د ـ دارای دندریت و آکسون میلین‌دار است ـ نیست

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۱۱- با توجه به شکل روبه‌رو چند مورد از موارد زیر صحیح است؟



الف ـ این نورون به طور حتم پیام خود را از مغز به ماهیچه آورده است.
ب ـ میزان انشعابات بخش A در نورون‌های مختلف متفاوت است.
ج ـ در بخش C پیام عصبی از یک نورون به یاختهٔ دیگر هدایت می‌شود.
د ـ سلول‌های بخش D در دفاع از سلول‌های عصبی و حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف آن‌ها نقش دارند.

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

۱۲- نورون ..... می‌تواند ..... .

۱) رابط همانند حرکتی ـ چندین دندریت متصل به جسم سلولی داشته باشد

۲) رابط برخلاف حسی ـ دارای آکسون با انشعابات فراوان در انتهای خود باشد

۳) حرکتی همانند رابط ـ دارای رشته‌های میلین‌دار در طرفین جسم سلولی باشد

۴) حسی برخلاف حرکتی ـ پیام‌های عصبی را به یک یاختهٔ غیرعصبی انتقال دهد

۱۳- نورونی که ..... ممکن نیست ..... .

۱) در انتقال پیام عصبی به دستگاه عصبی مرکزی نقش دارد ـ دارای دندریت و آکسونی در یک راستا باشد

۲) در مغز با نورون‌های دیگر ارتباط برقرار می‌کند ـ دارای آکسون میلین‌دار باشد

۳) پیام‌های عصبی را از مغز خارج می‌کند ـ آکسون بلندتری از دندریت خود داشته باشد

۴) ارتباط نورون حسی و حرکتی را برقرار می‌کند ـ در فضای خارج از مغز و نخاع فعالیت کند

۱۴- فرض کنید پای شما روی یک میخ می‌رود، برای برداشته‌شدن پا از روی میخ، نورونی که ..... .

۱) زودتر از سایر نورون‌ها تحریک می‌شود، آکسون بلندتری از دندریت خود دارد

۲) پیام عصبی را به ماهیچهٔ پا منتقل می‌کند، در دندریت و آکسون خود میلین دارد

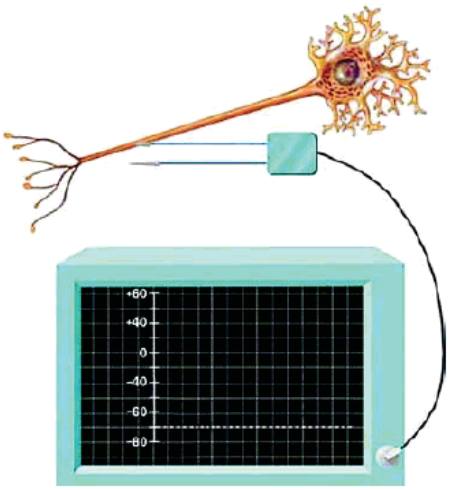
۳) پیام عصبی را به نورون حرکتی منتقل می‌کند، در خارج از مغز و نخاع فعالیتی ندارد

۴) به عنوان آخرین نورون تحریک می‌شود، در ساختار خود تنها یک دندریت و یک آکسون دارد

پتانسیل آرامش

۱ در مایع درون سلول (سیتوپلاسم) و مایع بیرون سلول (مایع بین‌سلولی یا همان مایع میان‌بافتی) کلی یون هست. در همهٔ بافت‌ها و همهٔ سلول‌ها این یون‌ها کلی کار می‌کنند مثل تنظیم آب، کمک به ورود و خروج مواد و ... . مقدار این یون‌ها در دو سمت غشای سلول‌های عصبی (و همهٔ سلول‌های زندهٔ بدن!) با هم یکسان نیست. این باعث می‌شود در دو سوی غشای سلول‌های عصبی، بار الکتریکی متفاوت باشد و در نتیجه بین دو سمت غشا، اختلاف پتانسیل الکتریکی به وجود بیاید، پس علت این اختلاف پتانسیل الکتریکی، عدم توازن بارهای الکتریکی در دو سمت غشاست (یعنی یه طرف غشا مثبت و یه طرف، منفی).

۲ حالا اگر مقدار یون‌ها در دو سمت غشای سلول عصبی تغییر کند، در سلول عصبی، پیام عصبی ایجاد می‌شود. تغییر مقدار یون‌ها در دو طرف غشا، در اثر فعالیت عصبی در نورون رخ می‌دهد؛ یعنی فعالیت عصبی در نورون باعث می‌شود مقدار یون‌ها در دو سمت غشا تغییر کند و به دنبال تغییر مقدار یون‌ها، پیام عصبی به وجود می‌آید.

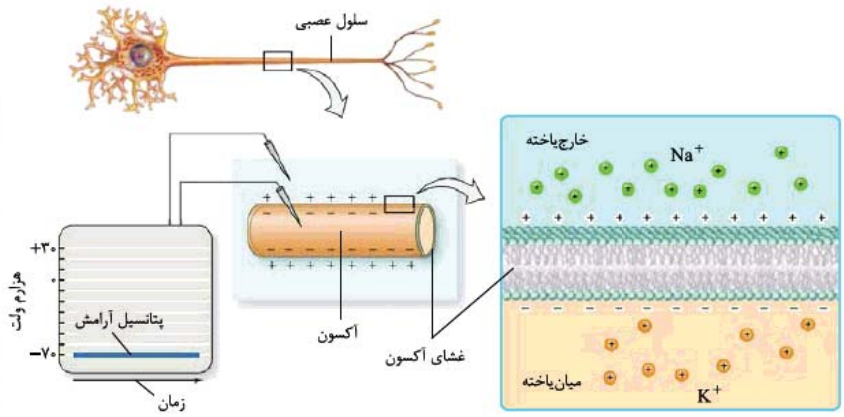


۳ با توجه به شکل ۴ می‌بینید که اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سمت غشای سلول عصبی را به وسیلهٔ ۲ الکترود اندازه می‌گیرند، یکی را بیرون سلول می‌گذارند و دیگری را درون سلول. الکترودها به یک دستگاه ولت‌متر وصل هستند.

۴ وقتی یک نورون در حال فعالیت عصبی نیست، یعنی در حال هدایت پیام عصبی نیست و پیام عصبی در آن تشکیل نشده است، می‌گویند که در حالت استراحت یا آرامش است. در این حالت بین دو سمت غشا یک اختلاف پتانسیلی وجود دارد که به آن پتانسیل آرامش می‌گویند. پتانسیل آرامش غشا حدود ۷۰- میلی‌ولت است یعنی در حالت آرامش، درون نورون نسبت به بیرون آن ۷۰ میلی‌ولت منفی‌تر است.

۵ طبق قرارداد برای اندازه‌گیری پتانسیل غشا، مبدأ سنجش را درون سلول می‌گیرند، به همین دلیل می‌گویند پتانسیل غشا ۷۰- میلی‌ولت است؛ چرا که مبدأ، درون نورون قرار داده شده است و درون نسبت به بیرون ۷۰ میلی‌ولت منفی‌تر است. اگر از ما بپرسند پتانسیل بیرون نورون نسبت به درون آن چه‌قدر است، می‌گوییم ۷۰+ میلی‌ولت؛ چرا که بیرون نورون نسبت به درون آن ۷۰ میلی‌ولت مثبت‌تر است، پس ۷۰ میلی‌ولت یعنی بیرون و درون غشا نسبت به هم ۷۰ میلی‌ولت اختلاف پتانسیل (اختلاف ولتاژ) دارند و + و − یعنی مبدأ را کجا گرفته‌ایم و مبدأ مثبت‌تر است یا منفی‌تر. دقت کنید که اختلاف پتانسیل ذاتن عددی مثبت است و + و − متصل به آن، جهت و مبدأ مقایسه را نشان می‌دهد.

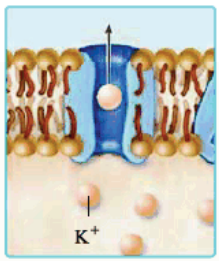
۶ در دستگاه عصبی و نورون‌ها، ۲ یون سدیم و پتاسیم در ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی و ایجاد و هدایت پیام عصبی (حرکت پیام عصبی) در طول یک نورون اهمیت خیلی زیادی دارند. حالا چگونه؟ یون‌های سدیم و پتاسیم چگونه باعث ایجاد این اختلاف پتانسیل و پتانسیل آرامش نورون می‌شوند؟ در حالت آرامش غلظت یون‌های سدیم در خارج نورون (مایع میان‌بافتی ـ مایع بین‌سلولی) بیشتر از درون آن است. همین‌طور غلظت یون‌های پتاسیم درون سلول (سیتوپلاسم) بیشتر از بیرون سلول است. حالا چه‌طوری این‌طوری شد؟ دقت کنید غلظت سدیم و پتاسیم در همهٔ سلول‌ها این‌گونه است، نه فقط نورون‌ها.



حالا چرا غلظت سدیم در خارج سلول و غلظت پتاسیم در داخل سلول بیشتر است؟ جوابش پروتئین ناقلی است (نه کانالی) به نام **پمپ سدیم ـ پتاسیم**. این پمپ سدیم‌ها را برخلاف شیب غلظت، با مصرف انرژی (ATP) و با انتقال فعال پمپ می‌کند (می‌فرستد) جایی که بیشتر هستند (خارج نورون) و سدیم درون نورون را کاهش می‌دهد. با همین مکانیسم پمپ سدیم ـ پتاسیم، پتاسیم‌ها را برخلاف شیب غلظت، با مصرف انرژی و انتقال فعال می‌فرستد جایی که بیشتر هستند (درون سلول) و غلظت پتاسیم بیرون سلول را کاهش می‌دهد.

۷ می‌دانید که براساس قوانین انتشار، مواد از جایی که بیشتر هستند، دوست دارند بیایند به جایی که کم‌ترند. پس چرا سدیم در بیرون سلول بیشتر است و همواره بیشتر می‌ماند و پتاسیم در درون نورون بیشتر است و همواره بیشتر می‌ماند؟

در حالت آرامش چون غلظت سدیم بیرون بیشتر است، تمایل دارد براساس انتشار بیاید درون نورون، تا غلظت سدیم را در بیرون و درون نورون با هم برابر کند. همین‌طور پتاسیم‌ها طبق قانون انتشار تمایل دارند که از سلول خارج شوند. این اتفاق در حالت آرامش می‌افتد و سدیم و پتاسیم طی انتشار تسهیل‌شده و از طریق **کانال‌های نشتی** (کانال‌های بدون دریچه ـ پس همیشه باز هستند) و بدون مصرف انرژی، به ترتیب می‌روند درون سلول و می‌آیند بیرون. خب پس چرا باز هم در نهایت در پتانسیل آرامش غلظت سدیم در خارج سلول بیشتر است و غلظت پتاسیم در درون سلول؟ چون فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم با مصرف انرژی و در خلاف شیب غلظت، برای بیرون‌بردن سدیم‌ها و به درون آوردن پتاسیم‌ها، بیشتر از ورود سدیم به سلول و خروج پتاسیم از سلول از طریق انتشار تسهیل‌شده، به وسیلهٔ کانال‌های نشتی، بدون مصرف انرژی است.



۱- ورود سدیم‌ها به درون سلول از طریق کانال‌های نشتی سدیمی و خروج پتاسیم‌ها از سلول از طریق کانال‌های نشتی پتاسیمی طی انتشار تسهیل‌شده صورت می‌گیرد. کانال نشتی پتاسیمی را در شکل ۶، قسمت «الف» می‌بینید. دقت کنید انتقال یون‌های سدیم و پتاسیم از غشای نورون، از طریق انتشار ساده یا انتقال فعال و بدون پروتئین (کانالی یا ناقل) ممکن نیست.

۲- در صفحهٔ ۴ کتاب درسی می‌خوانید یون‌های سدیم و پتاسیم از طریق **کانال‌های** نشتی منتشر می‌شوند، نه **کانال** نشتی. این‌طور نیست که یون‌های سدیم و پتاسیم هر دو از یک نوع کانال نشتی رد شوند. هر یون کانال نشتی مخصوص به خود را دارد. کانال نشتی در شکل ۶ قسمت «الف» مخصوص پتاسیم است که در حال خارج‌شدن از سلول است. می‌بینید فلشی که برای این کانال کشیده شده، یک‌طرفه و به سمت خارج سلول است، پس سدیمی از آن طرف از خارج سلول، به سلول وارد نمی‌شود.

بنابراین این کانال، کانال منحصربه‌فرد پتاسیمی است! پس کانال‌های نشتی سدیمی با کانال‌های نشتی پتاسیمی فرق دارند و این کانال‌ها از هم مجزا هستند.

۸ پس به طور خلاصه در پتانسیل آرامش سدیم‌ها در جهت شیب غلظت می‌آیند داخل نورون (انتشار تسهیل‌شده ـ پروتئین کانالی نشتی دریچه‌ندار!) و پتاسیم‌ها در جهت شیب غلظت با همان مکانیسم می‌روند بیرون نورون. در مقابل پمپ سدیم ـ پتاسیم آن‌قدر فعالیت می‌کند که با مصرف انرژی، سدیم‌ها را در خلاف جهت شیب غلظت می‌فرستد بیرون نورون، طوری که غلظت سدیم با مصرف انرژی همیشه (در حالت آرامش) در بیرون نورون بیشتر از درون نورون باشد. در مورد پتاسیم هم همین‌طور، پمپ سدیم ـ پتاسیم به زور و با مصرف انرژی، غلظت پتاسیم را در درون نورون بیشتر از بیرون آن نگه می‌دارد.

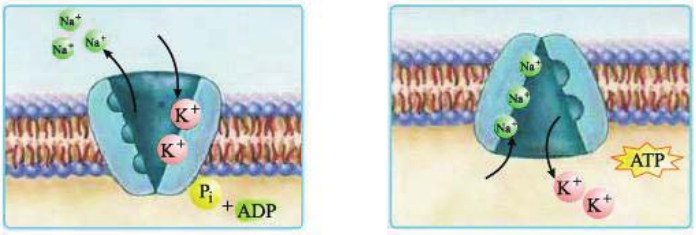
۹ *زرنگ باشید و گول نخورید!* ما تا این‌جا هنوز جواب سؤال اصلی را ندادیم. چرا درون نورون ۷۰ میلی‌ولت منفی‌تر از بیرون آن است؟ این‌که سدیم در بیرون غشا زیادتر از درون است و پتاسیم در درون زیادتر از بیرون است، ثابت نمی‌کند که درون باید منفی‌تر از بیرون باشد! اما واقعن چرا؟ دوتا دلیل داره:

۱ دلیل اول: طی هر بار فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم و مصرف یک مولکول ATP، ۳ یون سدیم از سلول خارج می‌شوند و ۲ یون پتاسیم وارد نورون می‌شوند. این یعنی هر بار فعالیت، باعث ایجاد یک بار مثبت بیشتر در بیرون نورون (و در نتیجه منفی‌تر شدن درون نسبت به بیرون) می‌شود، پس فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم باعث ایجاد اختلاف پتانسیل بین دو سمت غشای نورون و منفی‌تر شدن درون نورون نسبت به بیرون آن می‌شود.

۲ دلیل دوم: در حالت آرامش نفوذپذیری غشای نورون نسبت به یون پتاسیم بیش از یون سدیم است، یعنی در انتشار تسهیل‌شده، بدون مصرف انرژی و در جهت شیب غلظت، در واحد زمان تعداد پتاسیم‌هایی که از درون سلول می‌توانند بروند بیرون، بیشتر از تعداد سدیم‌هایی است که می‌توانند بیایند تو. پس انتشار سدیم و پتاسیم به طرز عجیبی باعث ایجاد اختلاف پتانسیل می‌شود. چون این انتشار انتخابی است، برای K^+ راحت‌تر رخ می‌دهد نسبت به Na^+؛ چون از راه کانال‌های نشتی پتاسیمی، K^+ بیشتری خارج می‌شود از سلول تا این‌که از راه کانال‌های نشتی سدیمی، Na^+ به سلول وارد شود.

اگر نفوذپذیری غشا به یون‌های سدیم و پتاسیم یکسان بود و نفوذپذیری به پتاسیم نسبت به سدیم بیشتر نبود، در این حالت انتشار باعث از بین رفتن اختلاف پتانسیل می‌شد؛ پس کانال‌های نشتی و انتشار یون‌ها از آن‌ها باعث ایجاد و حفظ پتانسیل آرامش می‌شوند.

دقت کنید طی هر بار فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم، ۵ یون جابه‌جا می‌شوند. در شکل ۶ قسمت «ب» پمپ سدیم ـ پتاسیم را می‌بینید که برای ۵ یون جایگاه دارد.



چگونگی کار پمپ سدیم ـ پتاسیم

پس تا این‌جا چندتا چیز یاد گرفتیم:

۱ سدیم‌ها و پتاسیم‌ها از طریق کانال‌های نشتی غیردریچه‌دار و انتشار تسهیل‌شده در جهت شیب غلظت، به ترتیب می‌آیند داخل و می‌روند بیرون، اما این اتفاق باعث انباشت سدیم درون سلول و خروج پتاسیم‌های زیاد از درون نورون نمی‌شود؛ چون:

۲ پمپ سدیم ـ پتاسیم با انتقال فعال و مصرف انرژی، غلظت سدیم را در بیرون و غلظت پتاسیم را در درون بالا نگه می‌دارد و عکس انتشار تسهیل‌شده عمل می‌کند.

۳ دلیل اولِ ۷۰- : طی هر بار فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم، ۳ سدیم خارج و ۲ پتاسیم وارد سلول می‌شوند. این یعنی پمپ سدیم ـ پتاسیم باعث ایجاد اختلاف پتانسیل و منفی‌شدن درون نورون نسبت به بیرون آن می‌شود.

۴ دلیل دومِ ۷۰- : در حالت انتشار (تسهیل‌شده) نفوذپذیری غشا نسبت به پتاسیم بیشتر از سدیم است و پتاسیم‌های بیشتری در جهت شیب غلظت از نورون خارج می‌شوند (نسبت به سدیم‌هایی که وارد می‌شوند). به همین دلیل این کار درون نورون را نسبت به بیرون آن منفی‌تر می‌کند.

پمپ سدیم ـ پتاسیم و کانال‌های نشتی هر دو هم باعث ایجاد پتانسیل آرامش و هم باعث حفظ آن می‌شوند.

جابه‌جا شدن یون‌ها در پتانسیل آرامش، براساس شیب غلظت هر یون است، نه براساس اختلاف پتانسیل الکتریکی. اگر براساس اختلاف پتانسیل الکتریکی بود، یون‌های پتاسیم، به علت منفی‌بودن درون، از سلول خارج نمی‌شدند و تازه سدیم‌ها هم می‌آمدند تو.

در مورد کانال‌های نشتی دقت کنید که پروتئینی هستند، همیشه بازند؛ یعنی دریچه ندارند، ورود و خروج مواد از آن‌ها از طریق انتشار تسهیل‌شده انجام می‌شود و بدون مصرف انرژی.

در سال گذشته خواندید انتشار تسهیل‌شده به وسیلهٔ پروتئین‌های غشایی که به شکل کانال عمل می‌کنند، انجام می‌شود. حرکت مواد در انتشار تسهیل‌شده در جهت شیب غلظت آن‌ها از جایی که تراکمشان بیشتر است به جایی که تراکمشان کم‌تر است، صورت می‌گیرد و انرژی زیستی (ATP) مصرف نمی‌کند.

پمپ سدیم ـ پتاسیم با مصرف انرژی، یون‌ها را جابه‌جا می‌کند. در سال گذشته خواندید پمپ یک پروتئین ناقل است که با روش انتقال فعال و با مصرف ATP کار می‌کند و یون‌ها را در خلاف جهت شیب غلظتشان جابه‌جا می‌کند؛ یعنی از جایی که زیاد هستند، می‌برد جایی که کم‌تر هستند.

۱- دقت کنید به دلیل نفوذپذیری بیشتر غشا به یون پتاسیم، خروج پتاسیم از طریق کانال‌های نشتی پتاسیمی نسبت به ورود سدیم از طریق کانال‌های نشتی سدیمی بیشتر است (کتاب نوشته تعداد یون‌های پتاسیم خروجی بیشتره)؛ بنابراین برایند فعالیت کانال‌های نشتی به نفع منفی‌شدن درون سلول نسبت به بیرون است (چون از طریق آن‌ها یون‌های مثبت، بیشتر خارج می‌شوند؛ تا این‌که بیشتر وارد شوند).

۲- تازه! برایند فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم هم به نفع منفی‌شدن درون سلول است، چون با هر بار فعالیت پمپ، ۳ یون مثبت، خارج و ۲ یون مثبت وارد می‌شود (به مثبت‌های خارج اضافه می‌شود و از مثبت‌های داخل کم می‌شود!) و باعث منفی‌تر شدن درون نسبت به بیرون می‌شود.

پتانسیل آرامش

۱۵- هم‌زمان با پتانسیل آرامش در نورون، یون ..... از طریق ..... و ..... مصرف انرژی وارد ..... می‌شود.

۱) سدیم ـ کانال نشتی ـ با ـ سیتوپلاسم نورون
۲) پتاسیم ـ کانال نشتی ـ بدون ـ مایع بین‌سلولی
۳) سدیم ـ کانال دریچه‌دار ـ بدون ـ سیتوپلاسم نورون
۴) پتاسیم ـ کانال دریچه‌دار ـ با ـ مایع بین‌سلولی

۱۶- به هنگام پتانسیل آرامش در نورون، پروتئین ..... موجب ورود یون ..... به جایی می‌شود که غلظت آن یون در آن مکان ..... است.

۱) پمپ سدیم ـ پتاسیم ـ سدیم ـ کم
۲) کانالی نشتی ـ پتاسیم ـ زیاد
۳) پمپ سدیم ـ پتاسیم ـ پتاسیم ـ زیاد
۴) کانالی دریچه‌دار ـ سدیم ـ کم

۱۷- چند مورد از موارد زیر برای تکمیل عبارت مقابل مناسب است؟ «در پتانسیل آرامش، ..... نیاز به صرف انرژی زیستی ..... .»

الف ـ ورود سدیم به نورون مانند خروج پتاسیم از نورون ـ دارد
ب ـ ورود پتاسیم به مایع میان‌بافتی برخلاف خروج سدیم از آن ـ ندارد
ج ـ خروج پتاسیم از مایع میان‌بافتی مانند ورود سدیم به آن ـ دارد
د ـ خروج سدیم از نورون برخلاف ورود پتاسیم به نورون ـ ندارد

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

۱۸- چند مورد از موارد زیر به درستی بیان شده است؟

الف ـ در حالت طبیعی توازن بین بارهای الکتریکی دو سمت غشای نورون دیده نمی‌شود.

ب ـ در پتانسیل آرامش هیچ کانال دریچه‌داری فعالیت نمی‌کند.

ج ـ برای اندازه‌گیری پتانسیل آرامش دو الکترود را در دو طرف غشای نورون قرار می‌دهند.

د ـ پمپ سدیم ـ پتاسیم طی هر بار عملکرد، ۵ یون را هم‌زمان جابه‌جا می‌کند.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۱۹- کدام مورد برای تکمیل عبارت مقابل مناسب نیست؟ «در پتانسیل آرامش میزان ..... بیشتر است.»

۱) انتشار یون‌های پتاسیم از یون‌های سدیم
۲) انتقال فعال یون‌های پتاسیم از یون‌های سدیم
۳) بار الکتریکی مثبت در خارج نورون از داخل آن
۴) انواع یون‌های جابه‌جاشده توسط پمپ از یک کانال

۲۰- اختلاف نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌های سدیم و پتاسیم باعث ..... می‌شود.

۱) خروج بیشتر سدیم از سلول نسبت به ورود پتاسیم
۲) خروج بیشتر پتاسیم از سلول نسبت به ورود سدیم
۳) ورود بیشتر سدیم به سلول نسبت به خروج پتاسیم
۴) ورود بیشتر پتاسیم به سلول نسبت به خروج سدیم

۲۱- در پتانسیل آرامش یک نورون حسی چند مورد از موارد زیر دیده می‌شود؟

الف ـ ورود سدیم به سیتوپلاسم با صرف انرژی

ب ـ خروج پتاسیم از نورون بدون صرف انرژی

ج ـ خروج سدیم از نورون بدون صرف انرژی

د ـ ورود پتاسیم به مایع میان‌بافتی با صرف انرژی

هـ ـ ورود سدیم به مایع میان‌بافتی با صرف انرژی

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۲۲- چند مورد از موارد زیر جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «هر پروتئینی در غشای نورون حرکتیِ در حال استراحت که ..... می‌تواند ..... .»

الف ـ سدیم را از سیتوپلاسم خارج می‌کند ـ پتاسیم را وارد مایع بین‌سلولی نماید

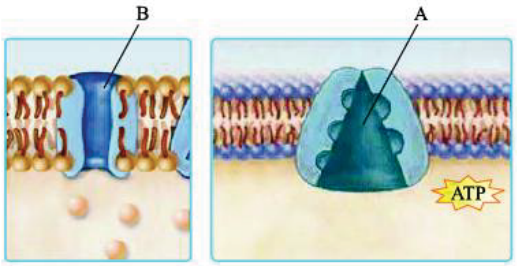
ب ـ پتاسیم را از سیتوپلاسم خارج می‌کند ـ سدیم را به بخش درونی نورون بفرستد

ج ـ سدیم را از مایع بین‌سلولی خارج می‌کند ـ پتاسیم را وارد سیتوپلاسم نماید

د ـ پتاسیم را از مایع بین‌سلولی خارج می‌کند ـ سدیم را به بخش بیرونی نورون بفرستد

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۲۳- چند مورد از موارد زیر جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «با توجه به شکل مقابل نمی‌توان گفت پروتئین ..... پروتئین ..... .»



الف ـ A مانند ـ B، توانایی جابه‌جایی دو نوع یون را دارد

ب ـ A برخلاف ـ B، موجب برقراری پتانسیل آرامش در سلول‌های عصبی مختلف می‌شود

ج ـ B مانند ـ A، موجب منفی‌تر شدن داخل نورون نسبت به خارج آن می‌شود

د ـ B برخلاف ـ A، در انتقال یون‌هایی با بار مثبت به درون نورون در جهت شیب غلظت نقش دارد

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۲۴- در حالت آرامش نورون کدام‌یک نادرست است؟

۱) اگر پمپ خراب شود، غلظت سدیم در دو طرف غشا برابر می‌شود.
۲) یون‌های پتاسیم بدون مصرف انرژی وارد مایع میان‌بافتی می‌شوند.
۳) یون‌های سدیم تمایل دارند درون سلول را منفی‌تر کنند.
۴) نفوذپذیری غشا به یون‌های پتاسیم بسیار بیشتر از نفوذپذیری آن به سدیم است.

۲۵- چند مورد از موارد زیر جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «در حالت آرامش نورون ..... .»

الف ـ مصرف انرژی باعث جابه‌جایی بیشتر سدیم‌ها نسبت به پتاسیم‌ها می‌شود

ب ـ فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم برخلاف فعالیت کانال‌های نشتی، اختلاف پتانسیل غشا را افزایش می‌دهد

ج ـ پتاسیم‌ها بیشتر از سدیم‌ها بدون مصرف انرژی جابه‌جا می‌شوند

د ـ تعداد پتاسیم‌هایی که وارد سلول می‌شوند، بسیار بیشتر از سدیم‌هایی است که از آن خارج می‌شوند

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۲۶- در پتانسیل آرامش یک نورون ..... .

۱) بازبودن کانال‌های نشتی، موجب افزایش نفوذپذیری غشا به یون پتاسیم می‌شود

۲) ورود سدیم به مایع میان‌بافتی برخلاف خروج این یون از آن، نیازمند مصرف انرژی است

۳) به علت انتشار، سدیم‌ها در درون نورون انباشته می‌شوند

۴) اختلاف پتانسیل داخل سلول نسبت به خارج آن، ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد

۲۷- مصرف مولکول‌های ATP در پتانسیل آرامش موجب می‌شود که ..... .

۱) نفوذپذیری غشای پلاسمایی نورون به یون پتاسیم بیشتر از سدیم باشد

۲) یون‌های سدیم به داخل و یون‌های پتاسیم به خارج نورون وارد شوند

۳) پتانسیل الکتریکی داخل نورون نسبت به خارج آن منفی‌تر شود

۴) عملکرد کانال‌های نشتی، اختلاف پتانسیل دو سمت غشای پلاسمایی نورون را به سمت صفر نبرد

۲۸- چند مورد از موارد زیر جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «هر پروتئین غشای نورون که در پتانسیل آرامش موجب ..... شود، ..... .»

الف ـ افزایش سدیم مایع میان‌بافتی ـ برای یون سدیم اختصاصی شده است

ب ـ کاهش پتاسیم سیتوپلاسم نورون ـ تنها در مواقع خاصی منفذ خود را باز می‌کند

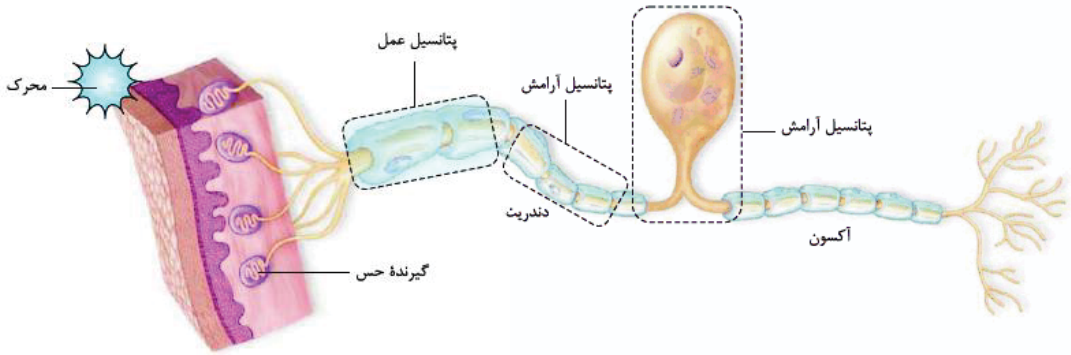
ج ـ افزایش پتاسیم سیتوپلاسم نورون ـ پتانسیل داخل نورون را نسبت به خارج آن منفی می‌کند

د ـ کاهش سدیم مایع میان‌بافتی ـ نیازی به صرف انرژی برای این کار ندارد

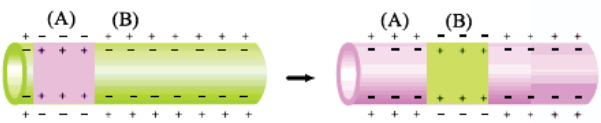
۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

پتانسیل عمل

۱ وقتی یک محرک مؤثر، یک سلول گیرندهٔ حس (که سلول یا بخشی از آن است) را تحریک می‌کند، سلول گیرنده اثر محرک را دریافت و به پیام عصبی تبدیل می‌کند. سلول عصبی این پیام عصبی را از طریق دندریتش دریافت می‌کند. البته گیرندهٔ حسی می‌تواند سلول جدایی نباشد؛ یعنی می‌تواند قسمتی از نورون (دندریت نورون حسی) باشد. در این حالت در دندریت نورون حسی پیام عصبی تولید می‌شود و نورون پیام عصبی را از سلول دیگری دریافت نمی‌کند.



وقتی سلول عصبی تحریک می‌شود، در محل تحریک، اختلاف پتانسیل دو سمت غشای آن به طور ناگهانی تغییر می‌کند و داخل سلول نسبت به خارج آن مثبت‌تر می‌شود و بعد از مدت‌زمان کوتاهی، اختلاف پتانسیل دو سمت غشا دوباره به حالت آرامش برمی‌گردد. به این تغییر، پتانسیل عمل می‌گویند، پس پتانسیل عمل یعنی تغییر **ناگهانی** و **کوتاه‌مدت** اختلاف پتانسیل دو سوی غشا و بازگشت آن به حالت آرامش پس از این مدت‌زمان کوتاه. یادتان هست که در پتانسیل آرامش، درون غشا نسبت به بیرون آن منفی‌تر بود. در پتانسیل عمل، در زمان بسیار کوتاهی درون غشا نسبت به بیرون آن مثبت‌تر می‌شود و بلافاصله (در زمان کوتاهی) به حالت اول برمی‌گردد، یعنی دوباره درون، منفی‌تر از بیرون می‌شود. در واقع داستان از این قرار است که در زمان خیلی کوتاهی در نقطهٔ **A**، پتانسیل آرامش تبدیل به پتانسیل عمل می‌شود و بعد به سرعت پتانسیل عمل از نقطهٔ **A** رد شده، می‌رود به نقطهٔ **B** و در این حالت مجددن در نقطهٔ **A** پتانسیل آرامش برقرار می‌شود.



در واقع پتانسیل عمل ۲ قسمت دارد:

- مثبت‌شدن درون نسبت به بیرون
- منفی‌شدن درون نسبت به بیرون (بازگشت به حالت اولیه)

عبور یون‌ها از غشای سلول‌های عصبی طی پتانسیل عمل به وسیلهٔ پروتئین‌هایی انجام می‌شود که به آن‌ها کانال‌های دریچه‌دار می‌گویند. دو نوع کانال دریچه‌دار به جابه‌جایی یون‌ها و ایجاد پتانسیل عمل در سلول عصبی کمک می‌کنند: کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی. با تحریک سلول عصبی ابتدا کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند و یون‌های سدیم از طریق آن‌ها وارد سلول می‌شوند و درون سلول را نسبت به بیرون مثبت‌تر می‌کنند. پس از مدت‌زمان کوتاهی این دریچه‌ها بسته و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز می‌شوند و یون‌های پتاسیم را از سلول خارج می‌کنند. این کانال‌ها هم پس از مدت کوتاهی بسته می‌شوند و به این ترتیب پتانسیل غشا دوباره به حالت آرامش یعنی پتانسیل ۷۰- میلی‌ولت برمی‌گردد. در پایان پتانسیل عمل هم فعالیت بیشتر پمپ سدیم ـ پتاسیم، جای یون‌های سدیم و پتاسیم را عوض می‌کند تا شیب غلظت این یون‌ها در دو سمت غشا با شیب غلظت آن‌ها در دو سمت غشا در حالت آرامش یکسان شود.

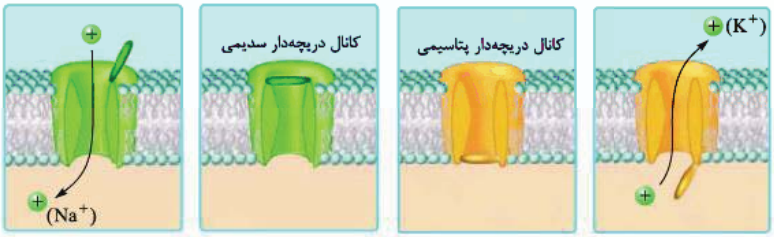
این یک شمای کلی از پتانسیل عمل بود. به زودی به جزئیات آن خواهیم پرداخت.

ورود سدیم‌ها از طریق کانال‌های دریچه‌دار سدیمی به سلول و خروج پتاسیم‌ها از طریق کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی از سلول، هر دو در جهت شیب غلظت، بدون مصرف انرژی و از طریق انتشار تسهیل‌شده انجام می‌شود.

یک سلول عصبی حتمن به وسیلهٔ یک محرک تحریک می‌شود و آن محرک باعث ایجاد پیام عصبی در سلول عصبی می‌شود. پیام عصبی که خودبه‌خود در سلول عصبی ایجاد نمی‌شود! در حالت طبیعی در سلول عصبی پتانسیل آرامش وجود دارد. برای این‌که در نورون پیام عصبی به وجود بیاید، یک محرک خارجی که اثرش را روی نورون می‌گذارد و یا یک نورون دیگر که خودش پتانسیل عمل دارد و آن را به نورون جدید منتقل می‌کند، باعث می‌شوند نورون جدید تحریک شود. این تحریک باعث می‌شود کانال‌های دریچه‌دار باز شوند و نورون فعلی! هم دچار پتانسیل عمل شود. پس منشأ این تحریک یا یک محرک خارجی یا داخلی است و یا یک نورونِ دارای پیام عصبی است که پیامش را به نورون فعلی می‌رساند.

کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی

می‌خواهیم ببینیم کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی چه مُدلی هستن. به شکل ۷ کتاب درسی نگاه کنید.



کانال دریچه‌دار سدیمی یک دریچه در بالا به سمت خارج سلول (در سمت خارج غشا) دارد که فقط موقع ورود یون‌های سدیم به درون سلول طی پتانسیل عمل باز است.

کانال دریچه‌دار پتاسیمی یک دریچه در پایین به سمت داخل سلول (در سمت داخل غشا) دارد که فقط هنگام خروج یون‌های پتاسیم از سلول طی پتانسیل عمل باز است.

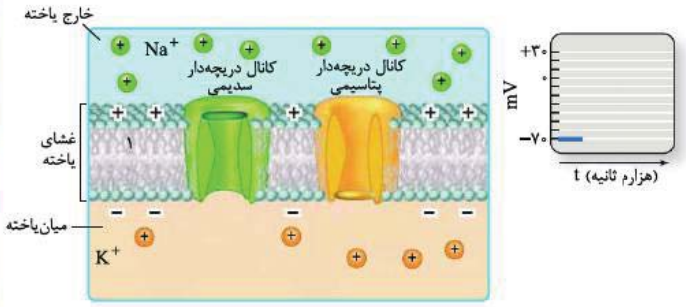
چگونگی ایجاد پتانسیل عمل

بیایید با هم چگونگی ایجاد پتانسیل عمل در یک نقطه از سلول عصبی را با توجه به شکل ۷ کتاب مرحله به مرحله بریم جلو.

۱ مرحلهٔ پتانسیل آرامش (قبل از تحریک)

۱- شکل «الف» مرحلهٔ پتانسیل آرامش را نشان می‌دهد. همان‌طور که گفتیم و در این شکل هم می‌بینید در زمان پتانسیل آرامش، سدیم‌ها در بیرون سلول بیشتر هستند و پتاسیم‌ها در درون سلول.

۲- در شکل می‌بینید که کانال دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی هر دو در این مرحله بسته‌اند و هیچ یونی از طریق آن‌ها جابه‌جا نمی‌شود.

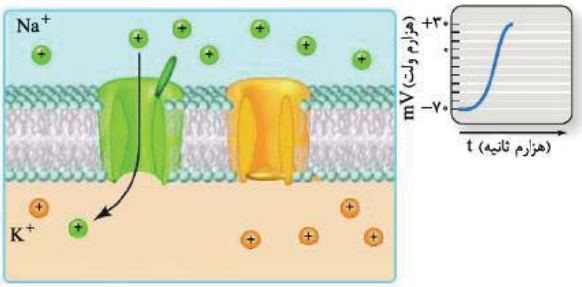


۳- کانال نشتی همیشه باز است. با این‌که شما آن را در شکل نمی‌بینید ولی بدانید در شکل نیفتاده! ولی باز است و دارد سدیم‌ها و پتاسیم‌ها را در جهت شیب غلظتشان جابه‌جا می‌کند و چون به پتاسیم نفوذپذیری بیشتری دارد، پتاسیم‌ها را بیشتر خارج می‌کند. پمپ سدیم ـ پتاسیم را هم در شکل نمی‌بینید؛ ولی بدانید آن هم فعال است و دارد سدیم‌ها و پتاسیم‌ها را در خلاف جهت شیب غلظتشان جابه‌جا می‌کند.

بدانید و آگاه باشید که پمپ سدیم ـ پتاسیم در تمام طول پتانسیل عمل و آرامش در حال فعالیت است. کانال‌های نشتی هم که دریچه ندارند همیشه بازند!

۴- نمودار اختلاف پتانسیل دو طرف غشا در این مرحله (در حالت آرامش) یک خط راست است که عدد ثابت ۷۰- را نشان می‌دهد؛ یعنی پتانسیل درون نسبت به بیرون ۷۰- میلی‌ولت است (پتانسیل غشا ۷۰- میلی‌ولت است).

۲ مرحلهٔ صعودی (بالاروی) نمودار پتانسیل عمل

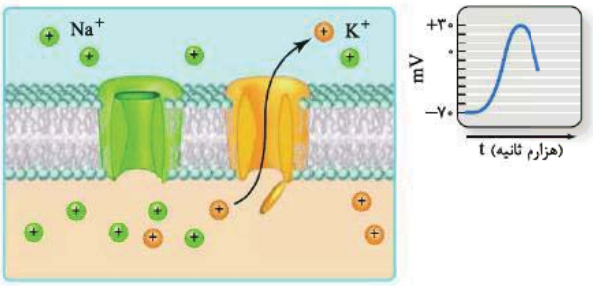


۱- در این مرحله یون‌های سدیم به صورت ناگهانی و از طریق کانال‌های دریچه‌دار سدیمی وارد سلول می‌شوند و درون سلول را نسبت به بیرون مثبت‌تر می‌کنند و پتانسیل غشا را از حدود ۷۰− به ۳۰+ میلی‌ولت می‌رسانند.

۲- در قسمت بالاروی (صعودی) نمودار، دریچهٔ کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز شده است و سدیم‌ها وارد سلول می‌شوند. ورود این یون‌ها از طریق انتشار تسهیل‌شده و در جهت شیب غلظت است. می‌بینید که در این مرحله کانال دریچه‌دار پتاسیمی هم‌چنان بسته است.

۳- دقت کنید در مرحلهٔ صعودی نمودار پتانسیل عمل، پتانسیل غشای درون سلول از ۷۰− می‌رسد به ۳۰+ میلی‌ولت. باز هم دقت کنید در این حالت درون سلول از ۷۰− اول می‌شود صفر و بعد می‌رسد به ۳۰+، یعنی تغییرات پتانسیل غشا در این حالت ۱۰۰ میلی‌ولت است (از ۷۰− تا ۳۰+).

۳ مرحلهٔ نزولی (پایین‌روی) نمودار پتانسیل عمل



۱- در این مرحله پتاسیم‌ها از طریق کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی از سلول خارج شده و درون سلول را نسبت به بیرون آن دوباره منفی‌تر می‌کنند.

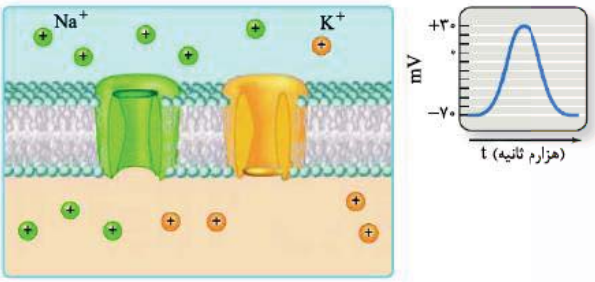
۲- با بازشدن دریچهٔ کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، پتاسیم‌ها که درون سلول بیشتر از بیرون هستند، در جهت شیب غلظت، بدون مصرف انرژی، از طریق این کانال‌ها با انتشار تسهیل‌شده از سلول خارج می‌شوند.

۳- خروج پتاسیم از طریق کانال‌های دریچه‌دار از سلول، پتانسیل غشا را از ۳۰+ به ۷۰− میلی‌ولت می‌رساند. در این نقطه (پتانسیل ۷۰−) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌شوند. دقت کنید طی خروج پتاسیم‌ها هم یک بار دیگر در یک لحظهٔ کوتاه اختلاف پتانسیل دو سمت غشا صفر شد، پتانسیل غشا از ۳۰+ رسید به صفر و بعد رسید به ۷۰−. تغییرات پتانسیل غشا در این مرحله هم ۱۰۰ میلی‌ولت است.

قلهٔ نمودار پتانسیل عمل، در پتانسیل ۳۰+ است. قبل از این نقطه کانال‌های دریچه‌دار سدیمی برای مدت‌زمان کوتاهی باز می‌شوند و سدیم‌ها وارد سلول می‌شوند. ورود سدیم‌ها باعث می‌شود پتانسیل غشا به ۳۰+ برسد. در نقطهٔ ۳۰+ کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند و در نتیجه پتانسیل غشا از ۳۰+ مثبت‌تر نمی‌شود (دیگر سدیم بیشتری وارد نمی‌شود).

خب چرا در این نقطه پتانسیل غشا از ۳۰+ بیشتر نمی‌شود؟ چون کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده‌اند. چرا پتانسیل غشا از ۳۰+ کم‌تر نمی‌شود! چون هنوز کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز نشده‌اند؛ پس دقیقن در یک لحظه هم کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده‌اند و هم کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز نشده‌اند (هر دو کانال بسته‌اند) که این لحظه قلهٔ نمودار را تشکیل می‌دهد.

۴ مرحلهٔ فعالیت بیشتر پمپ سدیم ـ پتاسیم!



۱- اگر یادتان باشد، گفتیم که در پایان پتانسیل عمل، پمپ سدیم ـ پتاسیم، شیب غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم دو سمت غشا را دوباره به حالت آرامش برمی‌گرداند (چون الان جاهاشون برعکس شده دیگه).

۲- در پایان پتانسیل عمل، پتانسیل درون غشا می‌رسد به ۷۰−. در این مرحله با فعالیت بیشتر پمپ سدیم ـ پتاسیم، جای سدیم‌هایی که آمدند داخل با پتاسیم‌هایی که رفتند بیرون عوض می‌شود. به وسیلهٔ این پمپ، سلول عصبی برای پتانسیل عمل بعدی آماده می‌شود.

دقت کنید در انتهای پتانسیل عمل ما یک **حالت آرامش** داریم، یک **پتانسیل حالت آرامش**.

حالت آرامش حالتی است که هم پتانسیل آن، پتانسیل حالت آرامش و هم آرایش یون‌ها در آن مانند آرایش یون‌ها در حالت آرامش است. حالت دیگر این است که پتانسیل حالت آرامش وجود دارد اما خودِ حالت آرامش حاکم نیست؛ پس هر جا که پتانسیل حالت آرامش داشته باشیم، لزومن حالت آرامش وجود ندارد (یعنی در اختلاف پتانسیل ۷۰−، لزومن جای یون‌های سدیم و پتاسیم درست نیست و اتفاقن برعکس است! یعنی حالت رو نداریم اما پتانسیل رو داریم!).

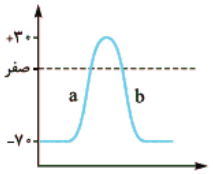
در واقع همهٔ ۷۰− ها، هم‌پتانسیل با حالت آرامش هستند (چون پتانسیل حالت آرامش ۷۰− است!) یعنی چه قبل از فعالیت پمپ و چه بعد از فعالیت بیشتر پمپ سدیم ـ پتاسیم و جابه‌جایی یون‌ها.

در واقع پتانسیل ۷۰− پتانسیل حالت آرامش است، اما این به معنی این‌که ما در حالت آرامش هستیم، نیست. پس اشتباه نکنید که در انتهای پتانسیل عمل وقتی به اختلاف پتانسیل ۷۰− می‌رسیم، یعنی به حالت آرامش می‌رسیم! ما به پتانسیل آرامش می‌رسیم، نه به حالت آرامش.

همیشه شیب غلظت پتاسیم به سمت بیرون و شیب غلظت سدیم به سمت داخل است. شاهدی بر این ادعا این است که در پایان پتانسیل عمل که غلظت سدیم درون سلول بسیار بیشتر از قبل شده و همین‌طور پتاسیم بیرون سلول خیلی بیشتر از قبل شده است، اما پمپ سدیم ـ پتاسیم **با صرف انرژی**، سدیم‌ها را بیرون و پتاسیم‌ها را داخل می‌کند. این یعنی سدیم‌ها هنوز تمایل دارند به سلول وارد شوند، پس یعنی شیب غلظتشان به سمت داخل سلول است و پتاسیم‌ها هنوز تمایل دارند از سلول خارج شوند، پس شیب غلظتشان به سمت بیرون سلول است.

این نکته فهمیدنش آسان نیست! با این‌که در پتانسیل عمل سدیم‌ها می‌آیند داخل و غلظت سدیم درون سلول بیشتر از قبل می‌شود، اما کماکان غلظت سدیم بیرون سلول بیشتر از غلظت سدیم درون سلول است. همین‌طور در مورد پتاسیم؛ با این‌که طی پتانسیل عمل، پتاسیم‌ها می‌روند بیرون و این اتفاق درون نورون را منفی‌تر از قبل می‌کند و غلظت پتاسیم بیرون افزایش می‌یابد، اما کماکان در این حالت هم غلظت پتاسیم درون سلول بیش از بیرون آن است.

حالا چرا این‌جوری؟! چرا با این‌که در مرحلهٔ صعودی نمودار پتانسیل عمل سدیم‌ها می‌آیند داخل، سدیم‌های درون بیشتر از سدیم‌های بیرون نمی‌شوند؟ چون سدیم‌ها آن‌قدر وارد می‌شوند که پتانسیل غشا را از ۷۰− برسانند به ۳۰+ و پتاسیم‌ها آن‌قدر خارج می‌شوند که پتانسیل غشا را از ۳۰+ برسانند به ۷۰−. سدیم‌ها آن‌قدر وارد نمی‌شوند که سدیم‌های درون بیشتر از بیرون شود و پتاسیم‌ها آن‌قدر خارج نمی‌شوند که پتاسیم‌های بیرون بیشتر از درون شود. این‌ها فقط با این هدف جابه‌جا می‌شوند که بتوانند پتانسیل غشا را بین ۷۰− و ۳۰+ و ۳۰+ و ۷۰− تغییر دهند. در اختلاف پتانسیل صفر (بین پتانسیل ۷۰ و ۳۰) مجموع بار الکتریکی یون‌های داخل با یون‌های خارج برابر است.



خیلی‌ها فکر می‌کنند که چون در حالت a، نمودار صعودی است، پس اختلاف پتانسیل غشا در حال افزایش است. این تصور کاملن غلط است، در واقع آن‌چه در مرحلهٔ a صعودی و در حال افزایش است، بار مثبت درون است؛ اما اختلاف پتانسیل دو طرف غشا از ۷۰ می‌رسد به صفر.

در این حالت اختلاف پتانسیل در حال کاهش است. نگویید از ۷۰− تا صفر در حال افزایش است! نه! اختلاف پتانسیل ۷۰ بیشتر از اختلاف پتانسیل صفر است (گفتیم که آن منفی خیلی هم منفی نیست و در واقع مبدأ مقایسه را نشان می‌دهد!)؛ پس در مرحلهٔ a ابتدا اختلاف پتانسیل دو طرف غشا کم می‌شود (۷۰ ⟵ صفر) و بعد افزایش می‌یابد (صفر ⟵ ۳۰). در مرحلهٔ b هم ابتدا اختلاف پتانسیل دو طرف غشا کاهش می‌یابد (۳۰ ⟵ صفر) و بعد افزایش می‌یابد (صفر ⟵ ۷۰).

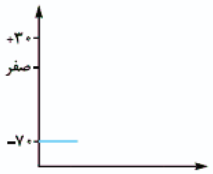
خب حالا ببینیم در یک سلول عصبی بیشترین اختلاف پتانسیل دو طرف غشا در چه زمانی و کم‌ترین اختلاف پتانسیل در چه زمانی است.

خیلی‌ها فکر می‌کنند، در زمان پتانسیل عمل و در قلهٔ نمودار آن که اختلاف پتانسیل به ۳۰+ میلی‌ولت می‌رسد، ۳۰+ چون مثبت است، بیشترین اختلاف پتانسیل دو طرف غشاست. در حالی که این‌طوری نیست و ۷۰−، بیشترین اختلاف پتانسیل دو طرف غشا است که پس از خروج پتاسیم‌ها از نورون دیده می‌شود. پس بیشترین اختلاف پتانسیل دو طرف غشا ۷۰ میلی‌ولت است (گفتیم آن منفی مهم نیست! و داره درون رو نسبت به بیرون نشون میده!).

کم‌ترین اختلاف پتانسیل دو سمت غشا هم صفر است. طی پتانسیل عمل، ۲ بار اختلاف پتانسیل دو سمت غشا صفر می‌شود که هر ۲ بار هم حدودن اواسط پتانسیل عمل است؛ یک بار وقتی که کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز هستند و سدیم‌ها در حال ورود به سلول‌اند (مرحلهٔ صعودی نمودار، ۷۰− ⟵ صفر) و یک بار هم وقتی کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز هستند و پتاسیم‌ها در حال خارج‌شدن از سلول‌اند (مرحلهٔ نزولی نمودار، ۳۰+ ⟵ صفر).

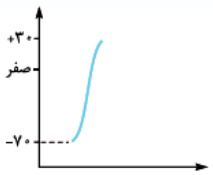
جمع‌بندی کلی مرحله به مرحله از روی نمودار:

۱ پتانسیل آرامش:



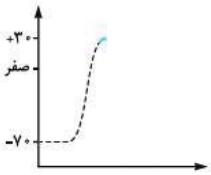
- اختلاف پتانسیل دو سمت غشا: ۷۰−
- کانال‌های دریچه‌دار سدیمی: بسته
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: بسته
- کانال‌های نشتی: باز!
- پمپ سدیم ـ پتاسیم: در حال فعالیت

۲ مرحلهٔ صعودی نمودار پتانسیل عمل:



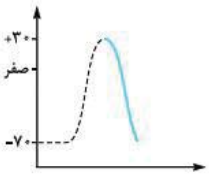
- تغییر پتانسیل دو سمت غشا: ۷۰− تا ۳۰+
- کانال‌های دریچه‌دار سدیمی: باز
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: بسته
- کانال‌های نشتی: باز
- پمپ سدیم ـ پتاسیم: در حال فعالیت

۳ قلهٔ نمودار پتانسیل عمل:



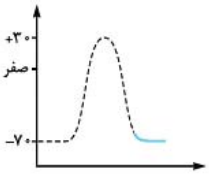
- اختلاف پتانسیل دو سمت غشا: ۳۰+
- در یک لحظهٔ کوتاه کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده‌اند و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی هنوز باز نشده‌اند.
- کانال‌های نشتی: باز
- پمپ سدیم ـ پتاسیم: در حال فعالیت

۴ مرحلهٔ نزولی نمودار پتانسیل عمل:



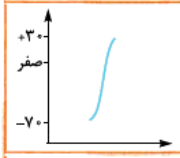
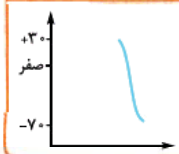
- تغییر پتانسیل دو سمت غشا: ۳۰+ تا ۷۰−
- کانال‌های دریچه‌دار سدیمی: بسته
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: باز
- کانال‌های نشتی: *ول‌کن نیستن!*
- پمپ سدیم ـ پتاسیم: *بدتر از کانال‌های نشتی!!*

۵ فعالیت بیشتر پمپ سدیم ـ پتاسیم در پایان پتانسیل عمل:



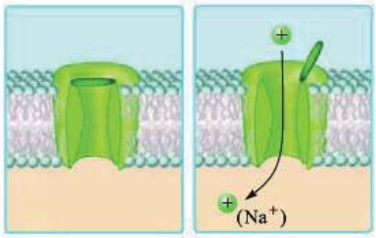
- اختلاف پتانسیل دو سمت غشا: ۷۰−
- کانال‌های دریچه‌دار سدیمی: بسته
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: بسته
- کانال‌های نشتی: باز
- پمپ سدیم ـ پتاسیم: در حال فعالیت. با فعالیت بیشتر پمپ در این مرحله سدیم‌هایی که آمدند تو، می‌روند بیرون و پتاسیم‌هایی که رفتند بیرون، می‌آیند تو تا شیب غلظت این یون‌ها در دو طرف غشا به حالت آرامش برگردد.

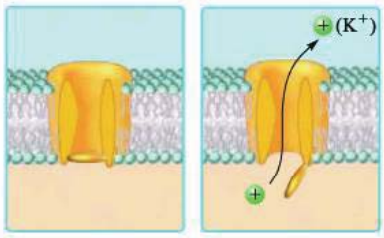
۷ ۴تا از پروتئین‌های غشا در یک جدول!

نوع پروتئین	نیاز به مصرف انرژی	روش انتقال مواد	چه کار می‌کنند؟	در پتانسیل آرامش	در پتانسیل عمل	تصویر پتانسیل عمل
کانال‌های نشتی سدیمی	هر دو بدون مصرف ATP	هر دو انتشار تسهیل‌شده (در جهت شیب غلظت)	سدیم وارد	هر دو باز هستند	هر دو باز هستند	—
کانال‌های نشتی پتاسیمی			پتاسیم خارج			
پمپ سدیم ـ پتاسیم	با مصرف ATP	انتقال فعال (خلاف شیب غلظت)	سدیم خارج ـ پتاسیم وارد	فعال هستند	فعال هستند در پتانسیل	—
کانال‌های دریچه‌دار سدیمی	بدون مصرف ATP	انتشار تسهیل‌شده (در جهت شیب غلظت)	سدیم، وارد	بسته‌اند	باز هستند (در پتانسیل ۷۰− تا ۳۰+)	
کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی	بدون مصرف ATP	انتشار تسهیل‌شده (در جهت شیب غلظت)	پتاسیم، خارج	بسته‌اند	باز هستند (در پتانسیل ۳۰+ تا ۷۰−)	

چه اختلاف پتانسیلی برای تحریک کانال‌های دریچه‌دار لازم است؟

- کانال‌های دریچه‌دار سدیمی در پتانسیل ۷۰− باز می‌شوند و در پتانسیل ۳۰+ بسته می‌شوند؛ یعنی در پتانسیل ۷۰− تا ۳۰+ باز هستند، پس میزان تغییر پتانسیل غشا در زمان بازبودن این کانال‌ها ۱۰۰ میلی‌ولت است.
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی در پتانسیل ۳۰+ باز می‌شوند و در پتانسیل ۷۰− بسته می‌شوند؛ پس در محدودهٔ پتانسیل ۳۰+ تا ۷۰− باز هستند و تغییرات پتانسیل غشا در زمان بازبودن این کانال‌ها ۱۰۰ میلی‌ولت است.





جمع‌بندی کانالی: وضعیت کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی در پتانسیل آرامش و عمل

۱ کانال‌های دریچه‌دار سدیمی:

۱- فقط در مرحلهٔ صعودی نمودار پتانسیل عمل باز هستند (در پتانسیل ۷۰− تا ۳۰+). در بقیهٔ مراحل پتانسیل عمل و در پتانسیل آرامش بسته‌اند.

۲- در پتانسیل آرامش دریچهٔ آن‌ها بسته است.

۳- در پتانسیل عمل هنگام تحریک‌شدن، دریچهٔ آن‌ها در سمت خارج غشا باز می‌شود.

۲ کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی:

۱- فقط در مرحلهٔ نزولی نمودار پتانسیل عمل باز هستند (از پتانسیل ۳۰+ تا ۷۰−). در بقیهٔ مراحل پتانسیل عمل و در پتانسیل آرامش بسته‌اند.

۲- این کانال‌ها یک دریچه در سمت پایین دارند که در زمان پتانسیل آرامش بسته است.

۳- در زمان پتانسیل عمل با بازشدن دریچهٔ کانال در سمت داخل غشا باز می‌شوند.

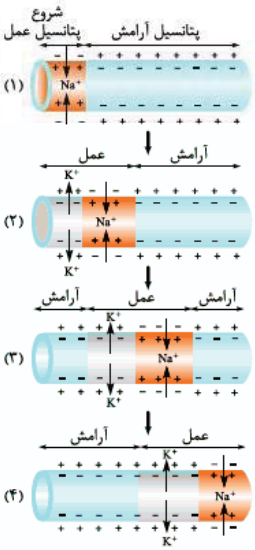
پیام عصبی و هدایت آن و نقش گره رانویه در هدایت

۸ پیام عصبی همان پتانسیل عمل است. در واقع محرک با تبدیل پتانسیل آرامش نورون به پتانسیل عمل، پیام عصبی در آن ایجاد می‌کند.

وقتی پتانسیل عمل در یک نقطه از سلول عصبی ایجاد می‌شود، نقطه به نقطه پیش می‌رود تا به انتهای رشتهٔ عصبی برسد. به این جریان، پیام عصبی می‌گویند.

۹ پیام عصبی (پتانسیل عمل) در طول نورون حرکت می‌کند به حرکت پتانسیل یا پیام عصبی در طول نورون، هدایت پیام عصبی می‌گویند. دقت کنید در یک لحظه همهٔ نورون دارای پتانسیل عمل و پیام عصبی نمی‌شود. پتانسیل عمل در یک نقطه از سلول عصبی ایجاد شده و نقطه به نقطه تا انتهای آکسون جلو می‌رود. وقتی پتانسیل عمل از نقطهٔ **A** به نقطهٔ **B** رفت، نقطهٔ **A** مجددن به پتانسیل آرامش برمی‌گردد.

۱۰ در این شکل‌ها هدایت پیام عصبی را از سمت چپ به سمت راست در طول نورون می‌بینید:



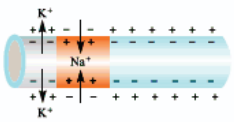
۱ در شکل (۱) می‌بینید در سمت چپ نورون با ورود یون‌های سدیم، پتانسیل عمل شروع شده است. سدیم‌ها وارد شده‌اند و درون را نسبت به بیرون مثبت کرده‌اند.

۲ در شکل (۲) در ادامهٔ پتانسیل عمل قبلی؛ در نقطهٔ قبلی در مرحلهٔ (۱) (که سدیم‌ها در حال ورود به سلول بودند)، پتاسیم‌ها در حال خروج از سلول هستند و درون را نسبت به بیرون منفی کرده‌اند. در نقطهٔ بعدی (نقطهٔ دیگری) پتانسیل عمل بعدی شروع شده و سدیم‌ها وارد سلول شده‌اند و درون را نسبت به بیرون مثبت کرده‌اند.

دقت کنید فلشی که با آن محدودهٔ پتانسیل عمل را در مرحلهٔ (۲) مشخص کرده‌ایم مربوط به یک نمودار پتانسیل عمل و یک نقطه نیست. خروج پتاسیم‌ها مربوط به پتانسیل عمل قبلی است (همان نقطه‌ای که در مرحلهٔ (۱) سدیم‌ها به آن وارد شده بودند) و ورود سدیم‌ها مربوط به پتانسیل عمل نقطهٔ جدید است که خروج پتاسیم آن را در مرحلهٔ (۳) می‌بینید.

۳ در مرحلهٔ (۳) می‌بینید که نقطهٔ اول کاملن به حالت آرامش برگشته است، نقطهٔ دوم در حال خارج‌کردن پتاسیم است و در نقطهٔ جدید دیگری کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز شده‌اند و یون‌های Na^+ در حال ورود به سلول هستند و درون را نسبت به بیرون مثبت کرده‌اند. فلش پتانسیل عمل در این مرحله هم مربوط به پتانسیل عمل دو نقطه است.

۴ پتانسیل آرامش در دو نقطهٔ اول، خروج پتاسیم در نقطهٔ سوم و شروع پتانسیل عمل (ورود سدیم) در نقطهٔ جدید ... .



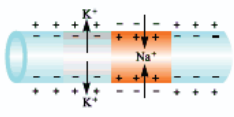
همان‌طور که می‌بینید پتانسیل عمل همین‌طور! نقطه به نقطه از سمت چپ به سمت راست در حال حرکت است.

با توجه به این شکل‌ها می‌بینید که کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی می‌توانند همزمان با هم باز باشند، منتها در **دو نقطهٔ مختلف** از نورون.

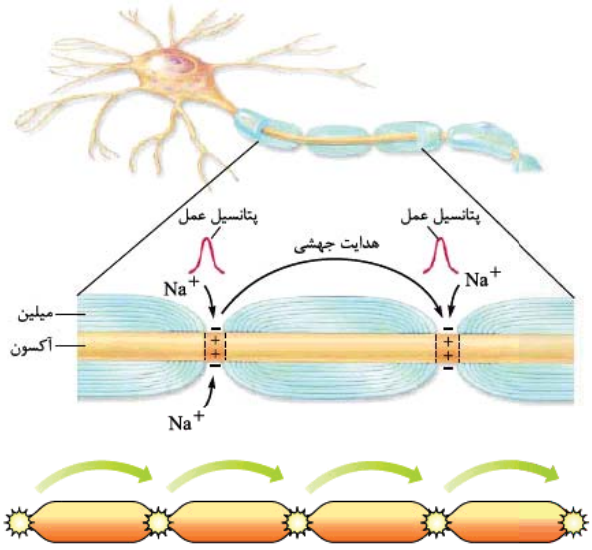
در این شکل می‌بینید هر دو کانال همزمان باز هستند، اما مربوط به دو نقطهٔ مختلف و دو پتانسیل عمل جدا هستند.

در نقطهٔ اول کانال‌های دریچه‌دار سدیمی تبدیل به پتاسیمی شده!!! و در عین حال کانال‌های دریچه‌دار سدیمی نقطهٔ بعدی هم باز شده‌اند.

با توجه به این شکل یه چیز دیگر هم متوجه می‌شویم و آن این‌که با تمام‌شدن پتانسیل عمل در **یک نقطه** از نورون، **همهٔ** کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته نمی‌شوند. ممکن است در نقطهٔ دیگری باز باشند.



این شکل را نگاه کنید. در سمت چپ شکل در نقطهٔ اول پتانسیل عمل تمام شده (در حالت آرامش است) و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی در این نقطه بسته شده‌اند. اما همان‌طور که می‌بینید در نقطهٔ بعدی کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز هستند. دیدید گفتم!



هدایت پیام عصبی در رشته‌های میلین‌دار؛ گره به گره!

(۱۱) در درس‌نامهٔ اول گفتیم نورون‌های میلین‌دار، گره رانویه دارند. در این نورون‌ها هر جا که گره رانویه وجود دارد، میلین وجود ندارد و در این محل‌ها غشای نورون با مایع بین‌سلولی (با محیط اطراف) در ارتباط است. تماس مایع بین‌سلولی با غشای نورون فقط در گره‌های رانویه، باعث می‌شود هدایت پیام عصبی در رشته‌های میلین‌دار به صورت جهشی باشد. به نظر می‌رسد پیام عصبی از یک گره رانویه به گره رانویهٔ دیگر می‌جهد. به همین علت به این هدایت، **هدایت جهشی** می‌گویند.

(۱۲) میلین‌ها باعث عایق‌شدن قسمت‌های دارای میلین می‌شوند و در آن قسمت‌ها پیام عصبی ایجاد نمی‌شود. در گره‌های رانویه که مایع خارجی سلول با غشای نورون در تماس است، پیام عصبی ایجاد می‌شود و پیام از یک گره به گره بعدی هدایت می‌شود. جهش پیام عصبی در نورون‌های میلین‌دار و این‌که در قسمت‌های میلین‌دار پیام عصبی **ایجاد نمی‌شود، باعث افزایش سرعت هدایت پیام عصبی در این نورون‌ها** می‌شود، پس سرعت هدایت پیام عصبی در نورون‌های میلین‌دار بسیار بیشتر از نورون‌های فاقد میلین است البته در صورتی که هم‌قطر باشند!

در قسمت‌های میلین‌دار یک نورون فقط در گره‌های رانویه پتانسیل عمل ایجاد می‌شود و به گره رانویه بعدی جهش می‌کند. پتانسیل عمل و پیام عصبی از قسمت‌های دارای میلین عبور نمی‌کند. به همین دلیل می‌گویند میلین، نورون‌ها را عایق می‌کند.

(۱۳) در ماهیچه‌های اسکلتی سرعت هدایت پیام عصبی اهمیت زیادی دارد، به همین علت نورون‌های حرکتی که پیام حرکتی را به آن‌ها ارسال می‌کنند، میلین‌دار هستند. **کاهش** یا **افزایش** مقدار میلین این نورون‌های حرکتی (حتمن می‌دانید در آکسونشان میلین دارند) باعث ایجاد بیماری می‌شود. مثلن در بیماری مالتیپل اسکلروزیس (**MS**) سلول‌های پشتیبانی که در دستگاه عصبی مرکزی میلین می‌سازند، از بین می‌روند؛ در نتیجه ارسال پیام‌های حرکتی به ماهیچه‌های اسکلتی به درستی انجام نمی‌شود و علائمی مثل اختلال در بینایی و حرکت و بی‌حسی و لرزش در فرد بیمار به وجود می‌آید.

در فصل ۵ همین کتاب می‌خوانید که در بیماری خودایمنی **MS** (مالتیپل اسکلروزیس)، دستگاه ایمنی به غلاف میلین در دستگاه عصبی مرکزی (نه محیطی) حمله می‌کند و آن را از بین می‌برد. با این کار سرعت هدایت پیام عصبی در قسمت‌هایی از دستگاه عصبی مرکزی که مورد حمله قرار گرفته، کم می‌شود. در این بیماری، در ارتباط دستگاه عصبی مرکزی با بقیهٔ بدن اختلال به وجود می‌آید. دقت کنید کتاب درسی در این فصل نوشته در بیماری **MS** سلول‌های پشتیبان از بین می‌روند و در فصل ۵ نوشته غلاف میلین از بین می‌رود. باز هم دقت کنید این دو با هم تضاد ندارند چرا که گفتیم غلاف میلین همان غشای سلول‌های پشتیبان هستند.

۱- بیماری **MS** باعث افزایش تماس غشای نورون‌ها در دستگاه عصبی مرکزی با مایع بین‌سلولی می‌شود.

۲- مغز و نخاع (دستگاه عصبی مرکزی) از دو قسمت مادهٔ خاکستری و سفید تشکیل شده‌اند. مادهٔ سفید شامل رشته‌هایی است که میلین دارند و به خاطر وجود میلین سفیدرنگ است و مادهٔ خاکستری شامل جسم سلولی‌هاست که میلین ندارند و همین‌طور شامل رشته‌های بدون میلین.

هم میلین در سرعت هدایت نقش تعیین‌کننده دارد و هم قطر نورون. هر چه‌قدر قطر یک نورون بیشتر باشد، سرعت هدایت آن بیشتر است. کتاب با آوردن عبارت «هم‌قطر» به صورت غیرمستقیم گفته است که قطر علاوه بر میلین عامل مهمی در سرعت هدایت پیام عصبی است.

۱- نورونی که گره رانویه دارد، یعنی میلین هم دارد و برعکس.

۲- نورون‌هایی که مربوط به حرکات سریع بدن هستند (مثل انعکاس‌ها) میلین دارند، چون سرعت هدایت پیام عصبی در آن نورون‌ها باید زیاد باشد تا آن حرکات به اندازهٔ کافی سریع باشند.

۳- **انعکاس‌ها را جلوتر می‌خوانید! حرکات غیرارادی که در طول تکامل شکل گرفته‌اند! مثلن وقتی دستتان را به جسم خیلی‌خیلی داغی می‌زنید به صورت غیرارادی آن را عقب می‌کشید، این حرکت نوعی انعکاس است که سرعت بالایی دارد و نورون‌های انجام‌دهنده‌اش میلین دارند.**

(۱۴) گفتیم در نورون‌ها و رشته‌های میلین‌دار، پتانسیل عمل از یک گره به گره رانویهٔ دیگر جهش می‌کند و در فاصلهٔ بین دو گره رانویه **تشکیل نمی‌شود**. فعالیت ۴ صفحهٔ ۷ کتاب درسی هم این موضوع را تأیید می‌کند که کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی که باعث ایجاد پتانسیل عمل می‌شوند، در رشته‌های عصبی میلین‌دار فقط در گره‌های رانویه وجود دارند. در واقع رشته‌های عصبی در فواصل بین دو گره رانویه (که زیر غلاف میلین قرار دارند) فاقد کانال‌های دریچه‌دار هستند، چون پتانسیل عمل در طول این رشته‌ها به طور پیوسته تشکیل نمی‌شود بلکه از یک گره رانویه جهش می‌کند به گره رانویهٔ بعدی؛ پس فقط گره‌های رانویه لازم است که پتانسیل عمل تشکیل بدهند و فقط آن‌ها لازم دارند که کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی داشته باشند. راستی! در نورون‌های فاقد میلین و همین‌طور در رشته‌های بدون میلینِ نورون‌ها که هدایت، جهشی نیست در تمام طول نورون و تمام طول رشته، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی حضور دارند.

پتانسیل عمل و نقش گره‌های رانویه

۲۹- کدام‌یک از عبارت‌های زیر جملهٔ مقابل را به نادرستی تکمیل می‌کند؟ «طی پتانسیل عمل در یک نقطه از نورون، ..... .»

۱) اول کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند
۲) در انتها پتانسیل غشا حدوداً به اندازهٔ پتانسیل آرامش است
۳) در مرحلهٔ آخر کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، پتاسیم‌ها را از سلول خارج می‌کنند
۴) درون نورون نسبت به بیرون آن ابتدا مثبت و سپس منفی می‌شود

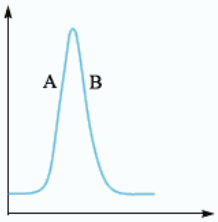
۳۰- ..... به ایجاد پتانسیل آرامش نورون کمک نمی‌کند.

۱) مصرف انرژی
۲) نفوذپذیری متفاوت غشای سلول‌ها به یون‌ها
۳) باز و بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار
۴) خروج بیشتر یون‌های مثبت از سلول نسبت به ورود آن‌ها

۳۱- کدام‌یک نادرست است؟

۱) طی پتانسیل عمل اختلاف پتانسیل دو سمت غشا به صورت ناگهانی تغییر می‌کند.
۲) طی پتانسیل عمل در زمان کوتاهی پتانسیل داخل نورون نسبت به خارج مثبت‌تر می‌شود.
۳) به حرکت پتانسیل عمل در طول یک نورون، هدایت پیام عصبی می‌گویند.
۴) در انتهای پتانسیل عمل داخل غشا نسبت به بیرون آن مثبت‌تر است.

۳۲- شکل مقابل تغییرات اختلاف پتانسیل غشای یک نورون را در پتانسیل عمل نشان می‌دهد. فعالیت A به وسیلهٔ ..... و فعالیت B ..... صورت می‌گیرد.



۱) پروتئین ناقل ـ با مصرف انرژی
۲) پروتئین کانالی ـ با مصرف انرژی
۳) پروتئین ناقل ـ بدون مصرف انرژی
۴) پروتئین کانالی ـ بدون مصرف انرژی

۳۳- پمپ سدیم ـ پتاسیم برخلاف کانال‌های نشتی ..... .

۱) توانایی انتقال یون‌ها در خلاف جهت شیب غلظت را دارد
۲) موجب کاهش میزان یون‌های پتاسیم سیتوپلاسم نورون می‌شود
۳) تنها می‌تواند هم‌زمان با پتانسیل آرامش نورون فعالیت نماید
۴) موجب منفی‌تر شدن داخل نورون نسبت به مایع میان‌بافتی می‌شود

۳۴- با فرض این‌که در انسان تراکم یون پتاسیم داخل نورون شدیداً کاهش یافته و سدیم درون نورون انباشته گردد، ..... در برقراری پتانسیل آرامش اثر سوء دارد. *(سراسری ۸۷)*

۱) فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم
۲) بازشدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی
۳) بسته‌شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی
۴) فعالیت پروتئین هیدرولیزکنندهٔ ATP در غشا

۳۵- در انتهای پتانسیل عمل غلظت یون‌های سدیم در ..... سلول بیشتر از پتانسیل آرامش است ضمن این‌که یون‌های پتاسیم باید ..... تا غلظت یون‌ها به حالت اولیه برگردد.

۱) داخل ـ از سلول خارج شوند
۲) خارج ـ وارد سلول شوند
۳) داخل ـ وارد سلول شوند
۴) خارج ـ از سلول خارج شوند

۳۶- در یک نقطه از سلول عصبی، با رسیدن پتانسیل غشا به حدود ۳۰+، ..... از طریق کانال دریچه‌دار ..... می‌شود.

۱) ورود پتاسیم به سلول ـ بیشتر
۲) خروج پتاسیم از سلول ـ کم‌تر
۳) ورود سدیم به سلول ـ متوقف
۴) ورود سدیم به سلول ـ کم‌تر

۳۷- چند مورد از موارد زیر به نادرستی بیان شده است؟

الف ـ برای رسیدن پتانسیل غشای نورون از ۳۰+ به صفر، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز می‌شوند.

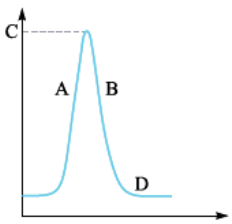
ب ـ در آخرین مرحلهٔ پتانسیل عمل، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته‌اند.

ج ـ بعد از پایان پتانسیل عمل، فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم بیشتر می‌شود.

د ـ در یک نورون در حالت آرامش، درون نورون نسبت به بیرون ۷۰ میلی‌ولت منفی‌تر است.

۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

۳۸- نمودار روبه‌رو، نمودار پتانسیل عمل در یک نقطه از نورون است. در قسمت A چه اتفاقی می‌افتد و پتانسیل غشا در نقطهٔ C چه‌قدر است؟



۱) یون‌های سدیم وارد نورون می‌شوند، ۳۰+
۲) یون‌های پتاسیم وارد نورون می‌شوند، ۳۰+
۳) یون‌های سدیم از نورون خارج می‌شوند، ۷۰−
۴) یون‌های پتاسیم از نورون خارج می‌شوند، ۷۰−

۳۹- با توجه به نمودار سؤال قبل، آخرین مرحلهٔ پتانسیل عمل ..... است و فعالیت پمپ سدیم ـ پتاسیم در ..... از بقیهٔ مراحل بیشتر است.

۱) D ـ B ۲) D ـ D ۳) B ـ D ۴) B ـ B

۴۰- رشته‌های آوران پیام‌های عصبی به جسم سلولی نورون، قطعاً ..... .

۱) از رشته‌های وابران پیام عصبی بلندتر هستند

۲) در تمام قسمت‌های خود در نورون حسی با غشای سلول پشتیبان در تماس هستند

۳) توسط لایه‌هایی از جنس غشای سلولی عایق شده‌اند

۴) در صورت میلین‌دار بودن، پیام عصبی را سریع‌تر هدایت می‌کنند

۴۱- کدام عبارت به درستی بیان شده است؟

۱) تنها عامل مؤثر در سرعت هدایت پیام عصبی، وجود یا عدم وجود میلین است.

۲) پیچیده‌شدن سلول پشتیبان به دور نورون، موجب جهشی‌شدن انتقال پیام عصبی می‌شود.

۳) در طول یک رشتهٔ عصبی میلین‌دار، تنها در گره‌های رانویه پتانسیل عمل ایجاد می‌شود.

۴) در هر نورون میلین‌دار بخشی وجود دارد که مانع از انتشار یون‌ها به منظور تولید پیام عصبی می‌گردد.

۴۲- کدام عبارت در مورد پتانسیل عمل ایجادشده در غشای یک نورون حسی، صحیح است؟ *(سراسری ۹۲ ـ با کمی تغییر)*

۱) در ابتدای پتانسیل عمل، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز می‌شوند.

۲) در پایان پتانسیل عمل، تراکم پتاسیم داخل سلول شدیداً کاهش خواهد یافت.

۳) با نزدیک‌شدن پتانسیل عمل از صفر به ۳۰+، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌شوند.

۴) در پی بسته‌شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، پتانسیل درون سلول نسبت به خارج منفی می‌شود.

۴۳- چند مورد از موارد زیر جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «طی فرایندهای پتانسیل عمل ..... .»

الف ـ پتانسیل غشا ۲ بار صفر می‌شود

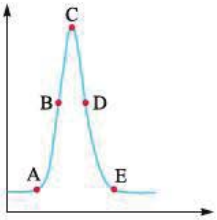
ب ـ حرکت یون‌ها از خلال غشای فسفولیپیدی ممکن نیست

ج ـ پتانسیل غشا در انتهای آن برابر با میزان پتانسیل غشا در زمان آرامش است

د ـ غلظت سدیم و پتاسیم داخل و خارج در پایان، شبیه ابتدای آن است

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

با توجه به نمودار روبه‌رو به سؤالات ۴۴ تا ۴۶ پاسخ دهید.



۴۴- بیشترین غلظت سدیم مایع میان‌بافتی در نقطهٔ ..... وجود دارد و بیشترین اختلاف پتانسیل دو سمت غشا در نقطهٔ ..... است.

۱) E ـ A ۲) A ـ C ۳) C ـ A ۴) C ـ E

۴۵- بیشترین غلظت پتاسیم درون سلول در نقطهٔ ..... و بیشترین غلظت پتاسیم بیرون سلول در نقطهٔ ..... است.

۱) E ـ C ۲) C ـ E ۳) C ـ A ۴) A ـ C

۴۶- در نقاط ..... غلظت ..... درون سلول کم‌ترین اختلاف را با هم دارد.

۱) B و C ـ سدیم ۲) A و E ـ پتاسیم ۳) D و E ـ سدیم ۴) C و D ـ پتاسیم

۴۷- چند مورد از موارد زیر جملهٔ مقابل را به درستی تکمیل می‌کند؟ «هم‌زمان با پتانسیل عمل ..... .»

الف ـ ورود سدیم از کانال‌های فاقد دریچه دیده می‌شود

ب ـ اختلاف پتانسیل دو سمت غشا می‌تواند از حالت آرامش کم‌تر شود

ج ـ کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی همواره اختلاف پتانسیل دو سوی غشا را کاهش می‌دهند

د ـ ممکن نیست به منظور عبور و مرور یون‌ها در دو طرف غشا، انرژی زیستی مصرف شود

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۴۸- در نقطه‌ای از یک نورون حرکتی زمانی که مصرف ATP افزایش می‌یابد، ..... .

۱) یون سدیم از طریق کانال دریچه‌دار وارد می‌شود

۲) ورود یون‌های پتاسیم متوقف می‌شود

۳) جریان عصبی در حالت هدایت نیست

۴) تغییر ناگهانی در اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سمت غشا رخ می‌دهد