

مقدمه

خب! خانم‌ها، آقایان!

این هم کتاب زیست‌شناسی یازدهم!

راستش دیگه روی من یکی که حساب نکنید! امشب که این کتاب تمام و کمال فرستاده شد به چاپخانه، بنده می‌خواهم بروم و یک ماهی در افق‌ها محو‌گردم!

حالا اگر بعدش کسی اومد دنبال من و من رو پیدا کرد، که هیچی! اگر نه که فعلن فعلن‌ها در همان افق‌ها می‌مانم تا ببینم چه می‌شود! ما در این سال‌ها که به طور بیشتر از ۲۴ ساعت در شبانه‌روز برای کتاب‌های زیست کار می‌کردیم آن‌چنان بسی رنج بردیم که یک سری تلفات روحی و جسمی توسط تیم تألیف و ویراستاری در راه مقصود دادیم! کلی دعواهای بامزه کردیم، کلی قهر کردیم، کلی غر زدیدم، کلی هم کار کردیم البته!! حاصلش شد این! واقعن گروه زیست خیلی سبز یکی از بانمک‌ترین و باحال‌ترین گروه‌هایی است که I have ever seen! . امیدوارم حاصلش آن‌قدر خوب شده باشد که توی خواننده کیف کنی و نگاهت یک جور خاصی برق بزند و خستگی هم از تن ما در برود! راستش زندگی ما در خیلی سبز در نیمه اول سال خیلی شبیه زندگی تو برای کنکور است. یک زندگی چریکی و سخت که باید از لحظه‌لحظه آن برای هدف استفاده کنی و سخت بکوشی! یاد کنکور خودم افتادم (گریه همارا!) . فکر می‌کنم همه ما آدم‌ها فارغ از هر عقیده و هدف باید در یک چیز اشتراک داشته باشیم؛ تلاش تا آخر عمر. شاید اولین تلاش مهم و بزرگ زندگی شما کنکور باشد که ما یک خرده‌ای کمکتان می‌کنیم ولی این تازه شروع یک ماجراجویی است. هدف‌های بزرگ‌تر و تلاش‌های سخت‌تر، بعد از کنکور می‌آید. کنکور تمرین خوبی برای مرد شدن یا زن شدن واقعی است البته!

یک نویسنده باحال ژاپنی می‌گوید:

«مهم نیست تا کجا فرار کنی. فاصله هیچ چیز را حل نمی‌کند. وقتی طوفان (یا توفان!!) تمام شد یادت نمی‌آید چگونه از آن گذشتی، چه‌طور جان به در بردی؛ حتی در حقیقت مطمئن نیستی طوفان واقعن تمام شده باشد. اما یک چیز مسلم است: وقتی از طوفان بیرون آمدی، دیگر همان آدمی نیستی که به درون طوفان قدم گذاشت ...»

از رمان «کافکا در کرانه»

دیگه خلاصه همین!

حالا یه کمی هم حرف‌های خوب و غیرجدی بزنیم!!!

از آن‌جایی که مُشک آن است که خود ببوید نه آن که نویسنده بگوید، قضاوت راجع به این کتاب بسیار عالی و باحال را به خودتان واگذار می‌کنیم!! می‌خوام تشکرات زیادی بکنم، اولن از هدی ملک‌پور و ملیکا مهری که با نیرو و انگیزه زیاد هماهنگی‌های سخت و طاقت‌فرسایی را بین حدود چهل پنجاه نفر!! در این پروژه انجام دادند. واقعن مرسی و خسته نباشید! از انسبه میرجعفری تشکر می‌کنم که در روزهای آخر این کتاب خیلی کمکمان کرد! از فاطمه آقاجانپور ممنونم که تألیف و ویراستاری این کتاب را به خوبی مدیریت کرد و به سرانجام رساند. از گروه خلاق ماز متشکریم که با تست‌های خوبشان در ویرایش جدید کتاب خیلی بیش‌تر از پیش به کتاب کمک کردند. خداوند هر چه می‌خواهند بهشان بدهد؛ البته اگر مشکل شرعی نداشت . ممنون از کوشا نشتایی عزیز، دوست و همکار قدیمی و خوب خودم و از سینا رضازاده سرابی که هر کجا هست امیدوارم خوب و خوش و موفق‌تر از همیشه باشد.

از همه سر ویراستاران و ویراستاران عزیز که برای این کتاب زحمت کشیدند بی‌نهایت سپاس‌گزارم. همه خیلی سبز مدیون زحمات مؤلفان و کارکنان خیلی سبز است. مرسی که هستید! ❤️

دوستان خوب تولید که اسم بعضی‌هایشان در شناسنامه هست، اسم خیلی‌هایشان هم در آن جا نیست. از همه شما ممنونم، کار کردن با گروه زیست خیلی سخت است! می‌دانم! ولی خوشبختانه چاره دیگری ندارید . در آخر هم از خداوند می‌خواهم که همه ما را هدایت بفرماید!

فرصت دوست‌داشتن کوتاه است!



Komeilnasri

به نام خداوند بخشاینده مهربان

چند وقت پیشا داشتم فیلم «هامون» رو نگاه می‌کردم. یکی از شاهکارای داریوش مهرجویی با بازی درخشان و به‌یادماندنی عمو خسرو شکیبایی. احتمالان اسمش رو خیلی شنیدین. یه دیالوگ معروف تو این فیلم هست که عمو خسرو به همسرش (با بازی بانو بی‌تا فرهی) می‌گه. هر موقع به این دیالوگ فکر می‌کنم کاملن از دنیا کنده می‌شم می‌رم تو فکر ...

«تو می‌خوای من اونو باشم که واقعن خودت می‌خوای من باشم؟ اگه من اونو باشم که تو می‌خوای؛ پس دیگه من، من نیست. یعنی من خودم نیستم ...» چند بار باید این دیالوگو شنید؟ چند بار باید به جملاتش فکر کرد واقعن؟ چند نفر از ما من خودمونیم؟ چند نفر واسه بقیه نقاب نمی‌ذاریم و خودمون رو اون جوری که نیستیم نشون نمی‌دیم؟ نمی‌دونم چی بگم، فقط می‌تونم بگم خودت باش با هر رنگی، با هر فکری، با هر سلیقه‌ای و با هر استعدادی؛ فقط خودت باش و هیچ کس رو تقلید نکن. مطمئن باش تو این قدر بزرگی و حال خوب به بقیه می‌دی که بقیه می‌خوان ادای تو رو در بیان. زیست و درس و تست همش بهانس ... بهانه‌ای که بهت بگه خودت باش، اطرافو ببین، درک کن، ببین ... می‌دونی در تو چی می‌گذره؟ درون تو با بقیه یکیه. دستگاه عصبيت، دستگاه حسیت، دستگاه ایمنی و ... اما اون چیزی که در تو با بقیه فرق می‌کنه اون چیزیه که توی کلته. اون چیزی که توی مغز و ذهنته. ازش استفاده کن، بی ترس و واهمه ... بی‌شرمندگی ... بی‌تعارف ولی با حساب و کتاب. خلاصه این که فقط و فقط من خودت باش!

حرف واسه زدن زیاده و زمان کم. کتاب داره می‌ره چاپخونه و معطل مقدمه منه. منم حرف رو کوتاه کنم. این کتاب، کتاب خیلی خوبی شده. خودم دوستش دارم. هیچ وقت فکر نمی‌کردم این قدر کار سنگینی باشه و این همه اذیتمون کنه! خیلی چیزها از دست رفته برای نوشته‌شدن این کتاب، پس خیلی حواست رو جمع کن که خوب ازش استفاده کنی. خیلی خوب ...

تشکرات مطبوعه !!!

(۱) خداجون این قدر به من لطف داشتی و در مقابل، این قدر من بد بودم که دیگه روم نمی‌شه روی ماهتو نگاه کنم. بخشش از بزرگونه. ما رو کما فی‌السابق دریاب ...

(۲) تشکرات خودم رو تقدیم به سه تا دونه جواهر می‌کنم؛ پدر، مادر و خواهر عزیزم که امسال ما رو ساپورت کردن در حد بنزا! ... دمتون جیزززا!

(۳) اساتید عزیزم سرکار خانم پریچهر آئین‌پژوه و آقایان احمد آقاجان‌پور و رضا بنی‌عامریان که بدون حضور این عزیزان حتمن جای من خیلی پایین‌تر از این حرفا بود ... به احترام اسم شما عزیزان می‌ایستم.

(۴) برویچه‌های خیلی‌سبز که خیلی به ما تو این کار کمک کردن. اگر هر کدوم از این دوستان نبودن حتمن کتاب به این ماهی! تحویل شما نمی‌شد. اول از همه سروراستاران عزیزمون خانمها آیدا آریافخر، فاطمه آقاجانپور، محدثه افروشه، روزا امیری کجایی، سارا محمدی‌فام، زهرا حسن‌زاده مقدم، ناهید خم‌خاجی، راضیه نصراله‌زاده، ثریا سفیدرو، مرضیه طالبی‌پور و فاطمه شاه‌مردی که هر چی بگم از زحماتشون کم گفتم. بعد هم از دوستان عزیزی که زحمت و پیرایش کتاب رو کشیدن خانمها مناقبتی، نفیسی، پدram، جلدی و کرانی و آقایان آقاجان‌پور، موسوی، نقیبی، غزالی، مهرنوش، رزاقی، ملکی، شریفی، ایران‌زاده، صابری، میرعالی‌لو، راستی، حسینی، شکرایی، حسنی، گرمابدری، صفریان و امامی از همشون خیلی خیلی مرسی هستیم!

(۵) یه تشکر درست و حسابی از هدی ملک‌پور عزیز و ملیکا مهری دلسوز که خیلی اذیتشون کردم. خیلی ممنون از زحماتتون و SORTY!

(۶) علی شهرابی، ایمان سلیمان‌زاده، مازیار مهدیان و مهدی رزاقی عزیز که خیلی خیلی بودنشون واسمون دلگرمی بود. ایشالا همیشه باشین ... نزدیک نزدیک!

(۷) دکتر ابودر و دکتر کمیل نصری عزیز، امان از دست شما دوتا داداش که من هر جور حساب می‌کنم، نبودنتون تو زندگی آدم یه حفره توخالی درست می‌کنه ... یه حفره گنده! دوستتون دارم زیاد ... خیلی‌ها!

(۸) جناب آقای مهندس محمد کشوری که حسابی تو این مدت هوای منو داشتن و خیلی خیلی به من لطف کردن.

(۹) و نهایتن بانو سیما تیرانداز ... استاد مسلم تئاتر که با گفتن چندتا جمله باعث شدن حال من بعد مدت‌ها خوب باشه و من خودم باشم! سیماجان تیرانداز، هیچ وقت حرفات یادم نمی‌ره، هیچ وقت.

چه قدر طولانی شد! دیگه حرف نزنم ... فقط واسه بار دهم ... نه یازدهم! خانوم دکتر آینده ... آقای دکتر آینده ... من خودت باش!

ارادتمند؛ نشتایی

doc.koosha@gmail.com

اینستاگرام: dr.nashtae

کانال تلگرام: @biopedia_hmn

مقدمه گروه آموزشی ماز

سلام دوست من!

از این که ویرایش جدید کتاب تست یازدهم (که حاصل همکاری تیم خوب خیلی سبز و دپارتمان زیست‌شناسی ماز برای چندمین بار هست) امروز به دستت رسیده، خوشحال و سرفرازیم. تمام تلاشمون رو کردیم تا کیفیت خیلی سبز و ماز رو با هم ترکیب کنیم تا بهترین همکلاسی شما در مطالعه‌ی درس زیست یازدهم باشیم.

از مدیر دپارتمان زیست‌شناسی ماز، دکتر محمدرسول خنجری و سایر اعضای دپارتمان زیست، دکتر سینا شمسی بیرانوند مسئول آزمون‌های آنلاین دهم و یازدهم ماز، دکتر فرزاد فرهمندنی، دکتر پوریا خیراندیش، دکتر هادی حسن‌پور، دکتر مهرداد قدک‌کار، آقای مهران غزالی‌بینا و دکتر علی قائدی که در تألیف این کتاب نقش داشتند، تشکر می‌کنم. هم‌چنین از دکتر ارسلان پهلوسای، آسیه میرزایی، دکتر ملیکا ارزنگ‌زاده، محمد کرامت‌فر و دکتر مهدی محسنی برای همکاری در ویراستاری این کتاب نهایت سپاس رو دارم.

راستی بچه‌ها! حتماً به سایت گروه آموزشی ماز به نشانی www.biomaze.ir سر بزنید. کلی آزمون با معیارهای استاندارد سنجشی کنکور، جزوه و کلی مطلب آموزشی و مشاوره‌ای رایگان براتون قرار دادیم.

یه چیز دیگه! برای تماشای گپ‌وگفت ما با رتبه‌های تکریمی و دورقمی کنکور ۹۹ و آشنایی با شیوه‌های درس‌خوندن‌شون به‌ویژه در درس زیست‌شناسی، به سایت گروه آموزشی ماز مراجعه کنید.

آدرس تلگرام ما: @biomaze

آدرس اینستاگرام ما: biomaze

پیروز و پاینده باشید.

دکتر سید آرمان موسوی‌زاده

مقدمه برادر رضازاده

الهی به امید تو!

راستش شاید باورتون نشه و یا شاید خنده‌دار باشه! ولی در یک عصر پاییزی! زمانی که برای کنکور درس می‌خوندم، موقع خوندن کتاب زیست و از (۲) خیلی سبز، به این فکر می‌کردم که من هم یک روزی در یکی از دانشگاه‌های تهران (اونم رشته پزشکی) قبول می‌شم و بعدش هم مستقیم می‌رم خیلی سبز! و بهشون می‌گم که آقا! یا خانم خیلی سبز! سلام!! می‌خوام واستون زیست (۲) درس‌نامه‌دار بنویسم! (آخه اون موقع زیست و از (۲) درس‌نامه نداشت) و اونا هم مطمئنن! قبول می‌کنن الان چند سالی از اون روز می‌گذره و خدا رو هزاران مرتبه شکر! هر دوتاش برای من اتفاق افتاد دوست عزیزم! مطمئن باش به هر چیزی که الان فکر می‌کنی، اگر برای رسیدن بهش تلاش بکنی، اگر واسش شب و روز وقت بذاری، بدون که بهش می‌رسی! شاید یکم دیرتر! ولی می‌رسی! مشکل اصلی ما اینه که قبل این که برای رسیدن به هدفمون تلاش کنیم، روزی هزار مرتبه پیش خودمون می‌بازیم! و تنها چیزی که بهش فکر می‌کنیم اینه که ما نمی‌تونیم. دوست عزیزم ما می‌تونیم! به خودت ایمان داشته باش، شک نکن که لایق بهترین‌ها هستی راستی اون بالا بالاها ... نه! همین نزدیکی‌ها یک End مرام، End خوبی، End خوشگلی! خلاصه End همه چیزهای خوب هستش که کافیه دستتو به سمتش دراز کنی

اما تألیف این کتاب، هم‌زمان با سخت‌ترین روزهای زندگی‌ام هم بود ولی خدایی خیلی کتاب خوبی شده! خیلی ممنونم از همه کسانی که این مدت بداخلاقی‌ها و بی‌حوصلگی‌های منو تحمل کردن اول از همه ممنونم از برادران نصری عزیز ... ، من به شما خیلی خیلی می‌دونم؛ دکتر ابوذر نصری، دقیق و جدی ولی مهربان و دلسوز ... ، دکتر کمیل نصری که علاوه بر این که مدیر خوبی هستی، برادر بزرگ‌تر خوبی هم هستی. دمتون گرم! همکاران عزیزم، جناب دکتر نشتایی، خانم‌ها آیدا آریافخر، فاطمه آقاجانپور، ناهید خم‌خاجی، مرضیه طالبی‌پور، الهام شاه‌مرادی و زهرا حسن‌زاده مقدم خیلی خیلی ممنونم از همه شماها ... ، از خانم هدی ملک‌پور به خاطر انرژی مثبتی که دادن و پیگیری‌های دقیقشون متشکرم. از دکتر محمدامین خلفی بابت این که خیلی مراعاتم کرد! خیلی مرام گذاشت و بابت مشاوره‌های خوبش و از پدر و مادر عزیزم، دستتون رو می‌بوسم؛ بزرگ‌ترین افتخار زندگی من هستید! مرسی از خوبی‌هاتون. داداش عزیزم، علی‌جان خیلی مخلصیم! ... و در آخر از کسی ممنونم که از وقتی که باید باهاش می‌بودم، زدم و گذاشتم پای این کتاب. یه جورایی درس‌نامه‌های این کتاب رقیبش بود! همسر عزیزم فائزه‌جان مرسی که این قدر مهربون و صبوری و مرسی که همیشه احساس کردم پیشمی و پشتمی در هر شرایطی

راستی خیلی دوست دارم نظرتون و هستون رو از خوندن این کتاب بهم بگین. هر سؤالی، نظری، پیشنهادی، انتقادی، غزذنی، تشکر و امتناهم ... رو دارین واسم ایمیل کنید.

برای تک‌تک هدف‌ها بجنگ!

ارادتمند، رضازاده

sinarezazadeh@gmail.com

فهرست

فصل درس‌نامه‌ها و تست‌ها تست‌های ترکیبی پاسخ‌نامه تشریحی

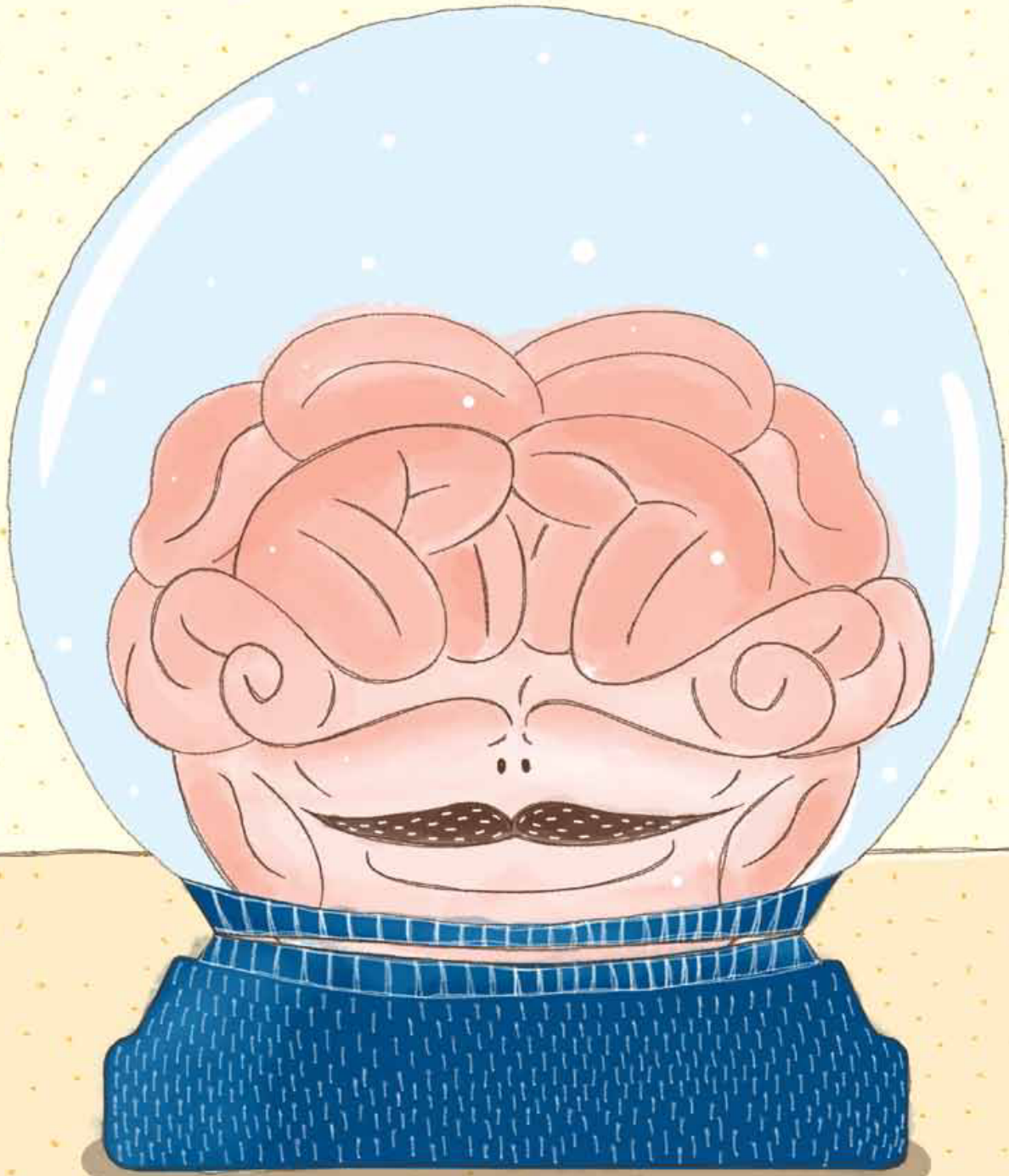
تنظیم عصبی	۷	۶۴	۶۸
حواس	۹۵	۱۵۱	۱۵۶
دستگاه حرکتی	۱۸۹	۲۲۸	۲۳۳
تنظیم شیمیایی	۲۵۵	۲۹۴	۳۰۱
ایمنی	۳۲۸	۳۸۱	۳۸۵
تقسیم یاخته	۴۱۴	۴۷۱	۴۷۴
تولیدمثل	۵۰۰	۵۵۷	۵۶۱
تولیدمثل نهان دانه‌گان	۵۸۵	۶۳۱	۶۳۵
پاسخ گیاهان به محرک‌ها	۶۶۱	۶۹۷	۷۰۰

۷۱۹

پاسخ‌نامه کلیدی

-  یادآوری
 -  حاشیه
 -  نکات
 -  نکته
 -  جمع‌بندی
 -  مفهوم
 -  پاورقی
 -  ترکیب
- (II+) ترکیبی با فصل‌های جلوتر همان سال
(III+) سوالات ترکیبی با دوازدهم

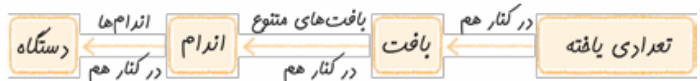
فصل ١
تنظیم عصبی





یاخته‌های بافت عصبی

ساختار و انواع سلول‌های بافت عصبی

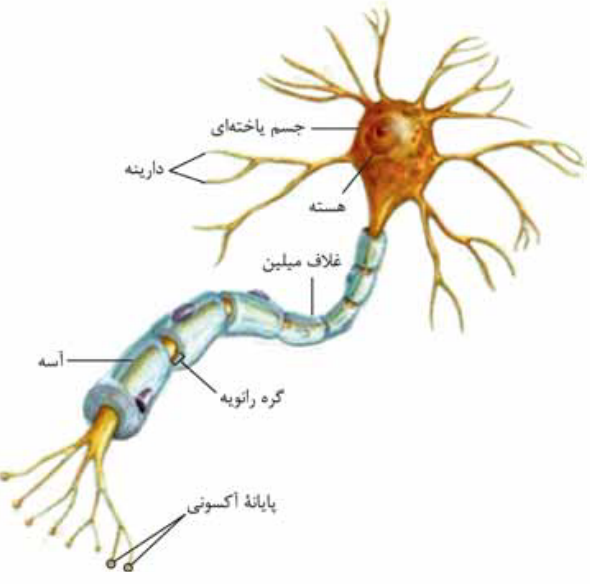


- در سال قبل خواندید که «دستگاه» این جوری به وجود می‌آید: مثلن در دستگاه عصبی، مغز و نخاع هر کدام یک اندام هستند و از کنار هم قرار گرفتن چند نوع بافت به وجود می‌آیند؛ پس این کلیت یادتون نره.
- دستگاه عصبی از کنار هم قرار گرفتن بافت عصبی و بافت غیرعصبی (پوششی و پیوندی) ساخته شده است. خود بافت عصبی، دو نوع سلول دارد؛ سلول عصبی و سلول غیرعصبی.
- نورون‌ها:** همان سلول‌هایی عصبی هستند. در واقع نورون‌ها، **سلول‌های اصلی** بافت عصبی، هستند که جریان الکتریکی در آن‌ها ایجاد می‌شود.
- سلول‌های پشتیبان (نوروگلیاها):** با وجود این‌که جزء بافت عصبی‌اند اما سلول‌هایی غیرعصبی هستند. در بافت عصبی تعداد سلول‌های پشتیبان چند برابر سلول‌های عصبی (نورون‌ها) است.

دستگاه عصبی	بافت عصبی	شامل سلول‌های عصبی (نورون) و غیرعصبی (پشتیبان)
	بافت غیرعصبی	شامل بافت‌های پوششی و پیوندی

نورون

- ویژگی نورون‌ها شامل **تحریک‌پذیری** از اثر محرک و ایجاد پیام عصبی، **هدایت** پیام عصبی و **انتقال** پیام عصبی به سلول‌های دیگر است.
- تحریک‌پذیری** یعنی این‌که نورون می‌تواند اگر اثر محرک به اندازه کافی قوی باشد آن را به پیام عصبی تبدیل کند. در فصل بعد می‌خوانید که گیرنده حسی، یاخته غیرعصبی یا بخشی از یک یاخته عصبی است که نسبت به محرک‌ها (گرما، نور، صدا، فشار و ...) تأثیرپذیر است، یعنی گیرنده حسی بعد از این‌که اثر محرک را دریافت کرد، اثر محرک به پیام عصبی تبدیل می‌شود. سعی کنید در زندگی‌تان خیلی آدم تحت تأثیری نباشید! پس تحریک‌پذیری گیرنده‌های حسی باعث ایجاد جریان عصبی می‌شود. یادتان باشد که تنها نورون‌ها نیستند که تحریک‌پذیرند. گیرنده‌های حسی و شبکه هادی قلب سلول‌هایی هستند که در آن‌ها پیام عصبی ایجاد می‌شود.
- بعضی از گیرنده‌های حسی، خودشان بخشی از یک نورون هستند و بعضی از گیرنده‌های حسی یک یاخته غیرعصبی‌اند.
- شبکه هادی قلب شامل **دو گره و دسته‌هایی از تارهای ماهیچه‌ای تخصص‌یافته** برای ایجاد و هدایت سریع جریان الکتریکی است که همانند نورون‌ها قادر به ایجاد، هدایت و انتقال جریان الکتریکی‌اند.
- نورون‌ها از یک منظر چیزی شبیه سیم هستند که پیام عصبی را جابه‌جا می‌کنند. به حرکت پیام عصبی در طول یک سلول عصبی (نورون) **هدایت** جریان عصبی می‌گویند.
- 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 و یا یک سلول ماهیچه‌ای و یا به سلول‌های غده‌ها منتقل شود. جلوتر با آن‌ها آشنا می‌شوید.
- این ۳ خصوصیت یعنی تحریک‌پذیری (ایجاد پیام عصبی)، هدایت و انتقال آن؛ فقط متعلق به سلول‌های عصبی یا نورون‌هاست، نه سلول‌های پشتیبان. نورون‌ها پیام عصبی (اثر محرک) را که نوعی پیام الکتریکی است، به دستگاه عصبی مرکزی می‌رسانند که البته خود دستگاه عصبی مرکزی هم از نورون‌ها ساخته شده است و در آن‌جا نورون‌ها پیام‌های عصبی را تفسیر و تحلیل می‌کنند و تصمیم می‌گیرند. نورون‌های دیگری این تصمیم را به ماهیچه‌ها 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! **تقریباً** هیچ انقباض و حرکتی در هیچ ماهیچه‌ای (صاف، قلبی و مخطط) و هیچ ترشحاتی در هیچ جای بدن انجام نمی‌شود مگر به کمک 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 پلک و فلاص!
- با توجه به شکل ۱ کتاب درسی می‌بینید که هر نورون شامل سه بخش است: **جسم یاخته‌ای، دارینه (دندریت) و آسه (آکسون)**. نورون‌ها مثل بقیه سلول‌ها غشا و سیتوپلاسم دارند.
- هر نورون یک و فقط یک جسم یاخته‌ای دارد. هسته هر نورون که رهبری سلول را بر عهده دارد، در جسم یاخته‌ای آن قرار گرفته است. جسم یاخته‌ای محل انجام سوخت و ساز نورون‌ها هم هست.



۱ در سال بعد می‌خوانید که اندامک میتوکندری محل اصلی تولید ATP (انرژی) سلول است؛ پس میتوکندری‌های فراوانی در جسم سلولی نورون‌ها وجود دارند.

۲ نوع رشته از جسم سلولی یا جسم یاخته‌ای نورون‌ها بیرون زده است: دارینه و آسه.

• دارینه‌ها پیام را از محیط یا یاخته قبلی دریافت می‌کنند و به جسم سلولی وارد می‌کنند. جسم سلولی هم پیام را به آسه می‌دهد.

• آسه پیام را از جسم سلولی دور می‌کند و آن را تا انتهای خود که **پایانه آسه (پایانه آکسونی)** نام دارد، هدایت می‌کند. پایانه‌های آکسونی همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است قسمت برجسته انشعابات انتهایی آکسون می‌باشند که در مورد وظیفه‌شان در انتقال پیام عصبی جلوتر صحبت خواهیم کرد.

۱- در شکل (۱۰ - ب) کتاب می‌بینید که پایانه‌های آکسونی هم مانند جسم یاخته‌ای حاوی میتوکندری هستند.

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

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

۴- 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 قبلی دریافت می‌کند و به جسم سلولی هدایت می‌کند.

۵- 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، مستقیماً به آکسون می‌رود و از دندریت رد نمی‌شود.

۶- پیام بعد از آکسون به پایانه آکسونی می‌رود و از آن‌جا می‌تواند به یک نورون دیگر و یا یک سلول دیگر منتقل شود؛ پس **انتقال** پیام عصبی یعنی ارسال پیام عصبی از یک نورون به یک سلول دیگر از طریق پایانه آکسونی.

۵ 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 همه نورون‌ها فقط یک آکسون دارند اما آکسون در انتهایش منشعب می‌شود و پایانه‌های متعددی ایجاد می‌کند.

۴ نورون‌ها سلول‌هایی تمایز یافته هستند و تقسیم سلولی و تقسیم هسته (میتوز) به ندرت در آن‌ها رخ می‌دهد. به همین دلیل است که وقتی فردی سکت می‌کند یا قطع نخاع می‌شود، سلول‌های آسیب دیده یا مرده، معمولاً به وسیله نورون‌های جدید جایگزین نمی‌شوند.

غلاف میلین

۶ در علوم هشتم خواندید 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 رشته عصبی می‌پیچد و غلاف میلین را به وجود می‌آورد. 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.

۷ در دوران جنینی، هم‌زمان با تشکیل نورون‌ها، نوروگلیاها داربست‌هایی 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. این همان وظیفه داربست بودن نوروگلیاها برای استقرار نورون است.

۸ در سال دهم خواندید که مجموعه اعمالی که برای پایدار نگه داشتن 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 در دو سمت غشای نورون) است.

۷ گفتیم که نوعی از سلول‌های پشتیبان، دور

بسیاری از رشته‌های عصبی (آکسون و دندریت بلند)

می‌پیچند و **غلاف میلین** را می‌سازند.

۸ **بسیاری** از نورون‌ها میلین ندارند نه همه آن‌ها.

۸ شکل ۲ قسمت «الف» در کتاب درسی، خیلی

خوب رابطه غلاف میلین، سلول‌های پشتیبان و رشته‌ها

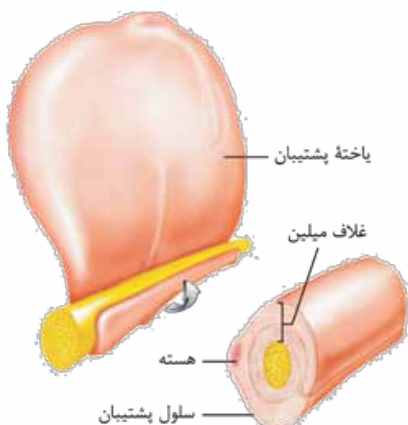
(در این شکل آکسون) را نشان می‌دهد. در شکل ۱

می‌بینید که چندین سلول پشتیبان پشت سر هم

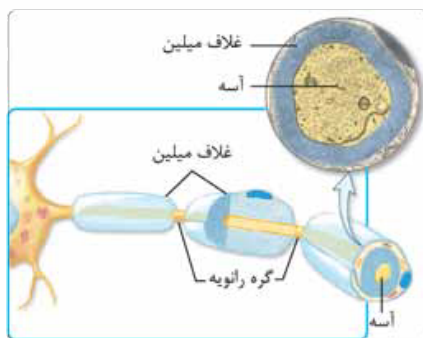
آکسون را در بر گرفته‌اند. با توجه به شکل ۲ قسمت

«ب» می‌بینید که غلاف میلین همان سلول پشتیبان

است که چندین دور، دور رشته عصبی پیچیده است.



(ب)



(الف)



۱- بسیاری از نورون‌ها میلین دارند، یعنی تعدادی از آن‌ها، نه در آسه و نه در دارینه میلین ندارند، 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.

۳- سلول‌های سازنده غلاف میلین مثل خود نورون‌ها تک‌هسته‌ای‌اند.

۹- در یک رشته میلین‌دار، غلاف میلین پیوسته نیست و در بخش‌هایی از رشته قطع می‌شود. به فاصله بین دو سلول پشتیبان که در آن‌جا میلینی 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 بین سلولی اطراف در تماس است.

۱۳- وجود میلین باعث کاهش تماس غشای نورون با مایع بین سلولی اطرافش می‌شود.

انواع سلول‌های عصبی (نورون‌ها)

۱۵- سلول‌های عصبی ۳ نوع هستند (شکل ۳): حسی، حرکتی و رابط.

۱- سلول عصبی حسی:

۱- این سلول پیام عصبی را به سوی دستگاه عصبی مرکزی (مغز و نخاع) می‌برد. پیام عصبی یا در بخشی از یک نورون حسی (مثل گیرنده گرما و سرما در پوست) و یا در یک یاخته غیرعصبی (مثل گیرنده بینایی) ایجاد شده است.

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

۳- یک دندریت و یک آکسون دارد.

۴- در شکل ۳ کتاب درسی تان دندریت نورون حسی بلندتر از آکسون آن است.

۵- هم در اعصاب حسی است و هم در اعصاب مختلط (جلوتر می‌خوانید).

۱۶- 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. اعصاب مختلط هر دو نوع رشته عصبی نورون حسی و حرکتی را دارند.

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 آکسون منفرد دارد.

۴- آکسونش بسیار بلندتر از دندریت‌هایش است.

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

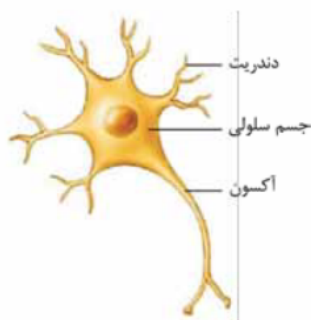
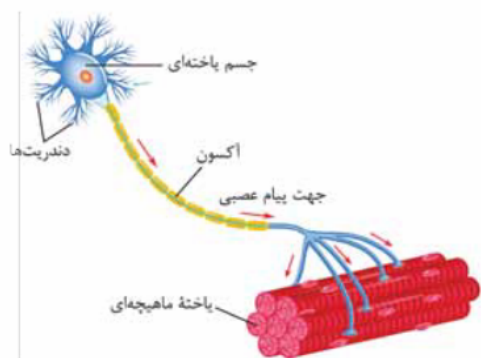
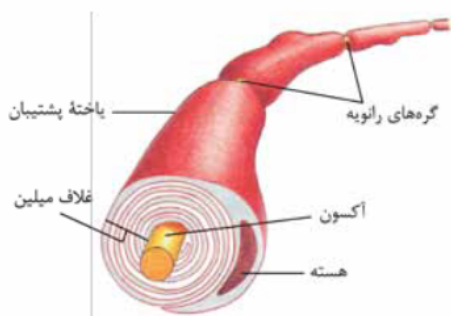
۳- سلول عصبی رابط:

۱- در مغز و نخاع قرار دارد.

۲- ارتباط لازم بین یاخته‌های عصبی را فراهم می‌کند؛ مثلن در شکل ۳ می‌بینید که نورون رابط پیام را از نورون حسی می‌گیرد و به نورون حرکتی می‌رساند.

۳- آکسون منفرد و دندریت‌های متعدد دارد.

۱۷- درباره شکل ۳ کتاب درسی دقت کنید که آکسون و دندریت نورون حسی که کتاب درسی نشان داده است میلین‌دار است. نورون حرکتی موجود در این شکل دارای آکسون میلین‌دار و دندریت‌های فاقد میلین می‌باشد و نورون رابط نشان داده شده در شکل، دارای آکسون و دندریت‌های فاقد میلین است، اما این یک قاعده کلی نیست! چرا که کتاب درسی در متن یک جمله مهم دارد که می‌گوید هر سه نوع یاخته (حسی، حرکتی و رابط) می‌توانند میلین‌دار یا بدون میلین باشند.





۱۱ با توجه به شکل ۳ کتاب درسی رابطه 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 پوست، اثر محرک 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 پایانه آکسون نورون حسی، پیام را به جسم سلولی و دندریتهای نورون رابط (در مغز یا نخاع) می‌آورد. این پیام از طریق نورون رابط به نورون حرکتی منتقل می‌شود، از طریق پایانه آکسون نورون رابط به جسم سلولی و دندریتهای نورون حرکتی منتقل می‌شود.

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.

پتانسیل آرامش

۱۲ در مایع درون سلول (سیتوپلاسم) و مایع بیرون سلول (مایع بین سلولی یا همان مایع میان‌بافتی) کلی یون هست. مقدار این یون‌ها در دو سمت غشای سلول‌های عصبی (و البته دیگر سلول‌های 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 وجود داشته باشد، پس علت این اختلاف پتانسیل الکتریکی، عدم توازن بارهای الکتریکی در دو سمت غشاست (یعنی یه طرف غشا مثبت و یه طرف، منفی؛ در واقع یه طرف غشا مثبت‌تر از طرف دیگر است).

۱۳ حالا اگر مقدار یون‌ها در دو سمت غشای سلول عصبی تغییر کند، در سلول عصبی، می‌تواند پیام عصبی ایجاد شود. 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.

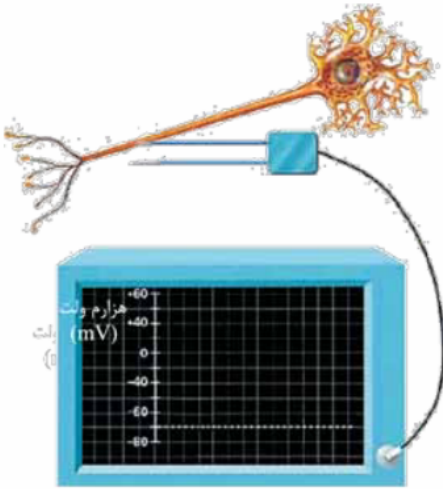
۱۴ با توجه به شکل ۴ می‌بینید که اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سمت غشای سلول عصبی را به وسیله ۲ الکتروود اندازه می‌گیرند، یکی را بیرون سلول (در مایع بین سلولی) می‌گذارند و دیگری را درون سلول. الکتروودها به یک دستگاه ولت‌متر وصل هستند.

۱۵ 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 آرامش یا استراحت 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.

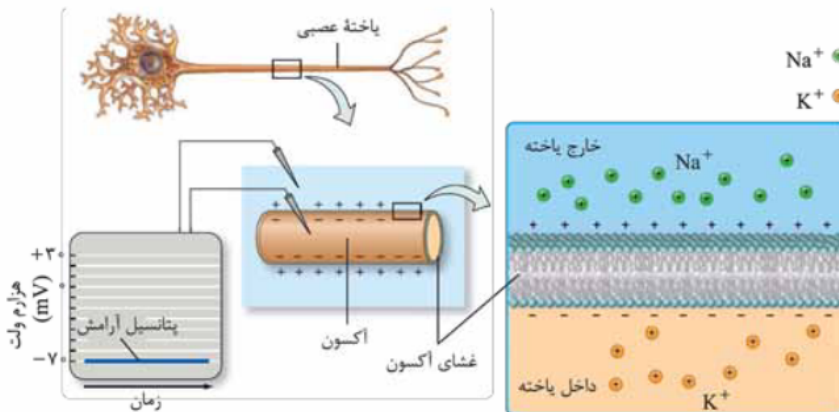
۱۶ طبق قرارداد برای اندازه‌گیری پتانسیل غشا، مبدأ سنجش را درون سلول می‌گیرند، به همین دلیل می‌گویند پتانسیل غشا ۷۰- میلی‌ولت است؛ چرا که مبدأ، درون نورون قرار داده شده است و درون نسبت به بیرون ۷۰ میلی‌ولت منفی‌تر است. اگر از ما بپرسند پتانسیل بیرون نورون نسبت به درون آن چقدر است، می‌گوییم ۷۰+ میلی‌ولت؛ 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. پس دقت کنید که اختلاف پتانسیل ذاتی یک عدد است و + و - متصل به آن، جهت و مبدأ مقایسه را نشان می‌دهد.

۱۷ در دستگاه عصبی 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؟

در حالت آرامش غلظت یون‌های سدیم در خارج نورون (مایع میان‌بافتی - مایع بین سلولی) بیشتر از درون آن است. همین‌طور غلظت یون‌های پتاسیم درون سلول (سیتوپلاسم) بیشتر از بیرون سلول است. دقت کنید غلظت سدیم و پتاسیم در همه سلول‌ها این‌گونه است، نه فقط نورون‌ها.



ولتاژ) دارند و + و - یعنی مبدأ را کجا گرفته‌ایم و مبدأ مثبت‌تر است یا منفی‌تر. پس دقت کنید که اختلاف پتانسیل ذاتی یک عدد است و + و - متصل

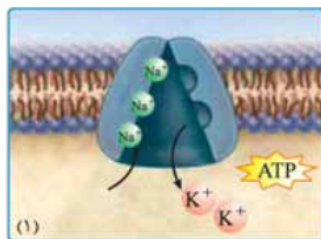
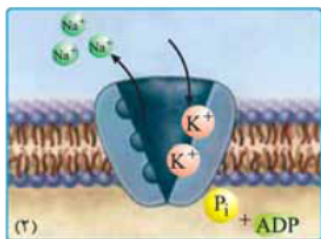


در شکل یون‌های پتاسیم در بیرون و یون‌های سدیم در درون یاخته نشان داده نشده‌اند.



حالا چرا غلظت سدیم در خارج سلول و غلظت پتاسیم در داخل سلول بیشتر است؟ برای پاسخ به این سؤال، باید با دو نوع از پروتئین‌های غشای نورون آشنا شوید: ۱) پمپ سدیم - پتاسیم (۲ کانال‌های نشتی.

۱) پمپ سدیم - پتاسیم: این پمپ سدیم‌ها را برخلاف شیب غلظت، و با انتقال فعال پمپ می‌کند (می‌فرستد) جایی که بیشتر هستند (خارج نورون) و



سدیم درون نورون را کاهش می‌دهد. با همین مکانیسم پتاسیم‌ها را برخلاف شیب غلظت و با انتقال فعال می‌فرستد جایی که بیشتر هستند (درون سلول) و غلظت پتاسیم بیرون سلول را کاهش می‌دهد. این پمپ برای عملکرد خود از انرژی مولکول ATP استفاده می‌کند. این پروتئین غیر از این که یک پمپ است نقش آنزیمی هم دارد و ATP را تجزیه می‌کند.

۲) کانال‌های نشتی: می‌دانید که براساس قوانین انتشار، مواد از جایی که بیشتر هستند، دوست دارند بیایند به جایی که کم‌ترند. در حالت آرامش چون غلظت سدیم بیرون بیشتر است و پمپ سدیم - پتاسیم هم برخلاف شیب غلظت هی سدیم‌ها را به خارج سلول منتقل می‌کند، سدیم تمایل دارد براساس انتشار بیاید درون نورون، تا غلظت سدیم در بیرون و درون نورون را 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 تسهیل شده و از طریق کانال‌های نشتی (کانال‌های بدون دریچه و همیشه‌باز) و بدون مصرف انرژی، به ترتیب می‌روند درون سلول و می‌آیند بیرون.

۱- ورود سدیم‌ها به درون سلول از طریق کانال‌های نشتی سدیمی و خروج پتاسیم‌ها از سلول از طریق کانال‌های نشتی پتاسیمی طی انتشار تسهیل شده صورت می‌گیرد.

۲- دقت کنید این‌طوری 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 خارج شدن از سلول است. می‌بینید فلشی که برای این کانال کشیده شده، یک طرفه و به سمت خارج سلول است، پس سدیمی از خارج سلول، به سلول وارد نمی‌شود. بنابراین این کانال، کانال منحصر به فرد پتاسیمی است! پس کانال‌های نشتی سدیمی با کانال‌های نشتی پتاسیمی فرق دارند و این کانال‌ها از هم مجزا هستند.

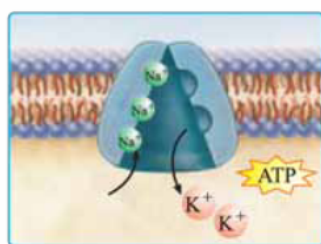
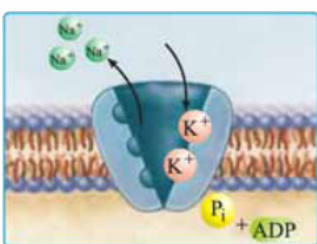
۳) پس چرا با فعالیت کانال‌های نشتی باز هم در پتانسیل آرامش، غلظت سدیم در خارج سلول بیشتر است و نیز غلظت پتاسیم در درون سلول بیشتر می‌باشد؟ چون فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم برای بیرون بردن سدیم‌ها و به درون آوردن پتاسیم‌ها (با مصرف انرژی و در خلاف شیب غلظت) بیشتر از ورود سدیم به سلول و خروج پتاسیم از سلول به وسیله کانال‌های نشتی (از طریق انتشار تسهیل شده، بدون مصرف انرژی) است.

۴) پس به طور خلاصه در پتانسیل آرامش سدیم‌ها در جهت شیب غلظت می‌آیند داخل نورون (انتشار تسهیل شده - پروتئین کانالی نشتی دریچه‌دار!) و پتاسیم‌ها در جهت شیب غلظت با همان مکانیسم می‌روند بیرون نورون. در مقابل پمپ سدیم - پتاسیم آن قدر 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 بیرون نورون بیشتر از درون نورون باشد. در مورد پتاسیم هم همین‌طور، پمپ سدیم - پتاسیم به زور و با مصرف انرژی، غلظت پتاسیم را در درون نورون بیشتر از بیرون آن نگه می‌دارد.

۱) زرنگ باشید و گول نخورید! ما تا این جا هنوز جواب سؤال اصلی را ندادیم. چرا درون نورون ۷۰ میلی‌ولت منفی‌تر از بیرون آن است؟ این که 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! چون بار هر دو تایشان مثبت است؛ اما واقعاً چرا؟ دو تا دلیل داره:

۱) دلیل اول: طی هر بار فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم و مصرف یک مولکول ATP، ۳ یون سدیم از نورون خارج می‌شوند و ۲ یون پتاسیم وارد نورون می‌شوند. این یعنی هر بار فعالیت پمپ، باعث ایجاد یک بار مثبت بیشتر در بیرون نورون (و در نتیجه منفی‌تر شدن درون نسبت به بیرون) می‌شود، پس فعالیت پمپ سدیم - 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 تسهیل شده، 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. این انتشار برای K^+ نسبت به Na^+ راحت‌تر رخ می‌دهد؛ پس K^+ های خارج شده از سلول از راه کانال‌های نشتی، بیشتر از Na^+ های وارد شده به سلول است که این هم باعث منفی‌تر شدن درون (مثبت‌تر شدن بیرون) می‌شود.



۱) دقت کنید طی هر بار فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم، ۵ یون جابه‌جا می‌شوند. در شکل ۶ قسمت «ب» پمپ سدیم - پتاسیم را می‌بینید که برای ۵ یون جایگاه دارد. با توجه به شکل می‌بینید که انتقال سدیم و پتاسیم توسط پمپ هم‌زمان نیست؛ در یک مرحله سه یون سدیم خارج می‌شوند و در یک مرحله دیگر ورود دو یون پتاسیم اتفاق می‌افتد. همچنین پروتئین پمپ هم ضمن انتقال فعال تغییر شکل می‌دهد.

۲) دقت کنید طی هر بار فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم، ۵ یون جابه‌جا می‌شوند. در شکل ۶ قسمت «ب» پمپ سدیم - پتاسیم را می‌بینید که برای ۵ یون جایگاه دارد. با توجه به شکل می‌بینید که انتقال سدیم و پتاسیم توسط پمپ هم‌زمان نیست؛ در یک مرحله سه یون سدیم خارج می‌شوند و در یک مرحله دیگر ورود دو یون پتاسیم اتفاق می‌افتد. همچنین پروتئین پمپ هم ضمن انتقال فعال تغییر شکل می‌دهد.

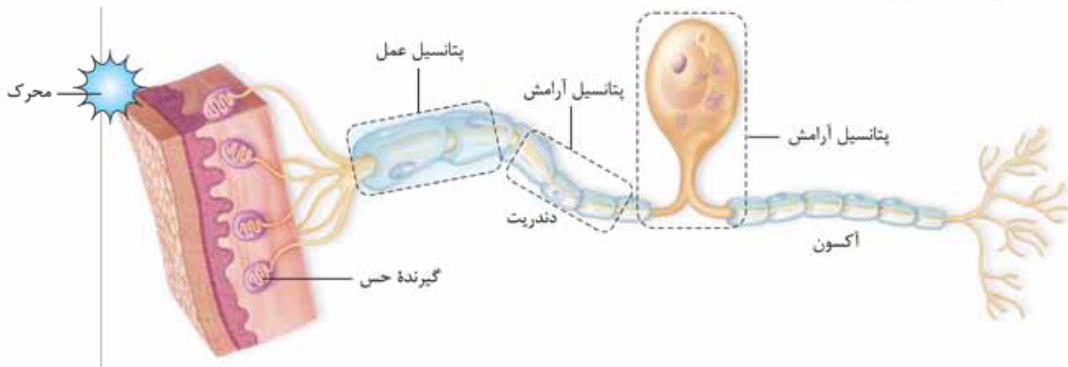
چگونگی کار پمپ سدیم - پتاسیم



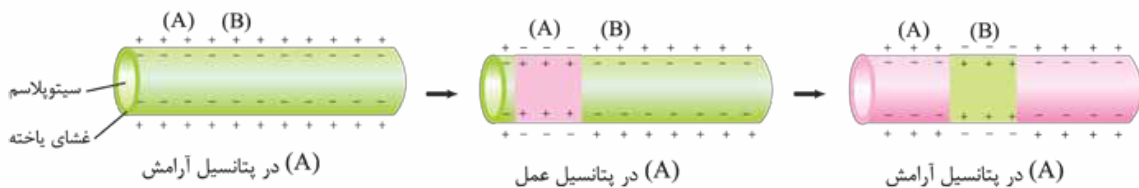
پمپ سدیم - پتاسیم و کانال‌های نشتی، هر دو، در حفظ پتانسیل آرامش نقش دارند. جلوتر می‌خوانیم که وجود پتانسیل آرامش برای فعالیت عصبی نورون لازم است.

نشیبه فعالیت ^۱	مولکول انتقال یافته	مصرف انرژی زیستی	شکل پروتئین	محل پروتئین	پمپ پروتئینی
<ul style="list-style-type: none"> افزایش سدیم در بیرون افزایش پتاسیم در درون منفی شدن درون حفظ اختلاف پتانسیل بیرون و درون 	سدیم و پتاسیم	دارد (انتقال فعال)	پروتئین ناقل با تغییر شکل بین فعالیت	غشای نورون	پمپ پروتئینی سدیم - پتاسیم
<ul style="list-style-type: none"> افزایش سدیم درون مثبت شدن درون 	فقط سدیم	ندارد (انتشار تسهیل شده)	پروتئین کانالی بدون دریچه با شکل ثابت	غشای نورون	کانال نشتی سدیم
<ul style="list-style-type: none"> افزایش پتاسیم بیرون منفی شدن درون 	فقط پتاسیم	ندارد (انتشار تسهیل شده)	پروتئین کانالی بدون دریچه با شکل ثابت	غشای نورون	کانال نشتی پتاسیم

پتانسیل عمل و نقش گره‌های رانویه



گفتیم که در پتانسیل آرامش، درون غشا نسبت به بیرون آن منفی تر بود. وقتی سلول عصبی تحریک می‌شود، در محل تحریک، پتانسیل آرامش به هم می‌ریزد و اختلاف پتانسیل دو سمت غشای آن به طور ناگهانی تغییر می‌کند و داخل سلول نسبت به خارج آن مثبت تر می‌شود (برعکس حالت آرامش) 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 (مثبت شدن درون) و بازگشت آن به حالت آرامش پس از این مدت‌زمان کوتاه. در واقع داستان از این قرار است که در زمان خیلی کوتاهی در نقطه A، پتانسیل آرامش تبدیل به پتانسیل عمل می‌شود و بعد به سرعت پتانسیل عمل از نقطه A رد شده، می‌رود به نقطه B و در این حالت مجدد در نقطه A پتانسیل آرامش برقرار می‌شود.



در واقع پتانسیل عمل ۲ مرحله دارد:

مثبت شدن درون نسبت به بیرون

منفی شدن درون نسبت به بیرون (بازگشت به پتانسیل اولیه)

پتانسیل عمل با عبور یون‌ها از غشای سلول‌های عصبی به وسیله پروتئین‌هایی خاص ایجاد 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**.

کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی را با کانال‌های نشتی سدیمی و پتاسیمی که صحبتشان را کردیم اشتباه نگیرید!

با تحریک سلول عصبی ابتدا کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند و یون‌های سدیم در جهت شیب غلظت 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 در جهت شیب غلظت از سلول خارج می‌کنند و درون سلول نسبت به بیرون آن منفی‌تر می‌شود. این کانال‌ها هم پس از مدت کوتاهی بسته می‌شوند و به این ترتیب پتانسیل غشا دوباره به پتانسیل آرامش یعنی -70 میلی‌ولت برمی‌گردد.

۱- در این ستون اثر پمپ سدیم - پتاسیم، کانال نشتی سدیمی و کانال نشتی پتاسیمی را مستقل از یکدیگر بررسی کردیم!



پس از پایان پتانسیل عمل هم فعالیت بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا را دوباره به حالت آرامش بازمی‌گرداند. 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 تسهیل شده انجام می‌شود.

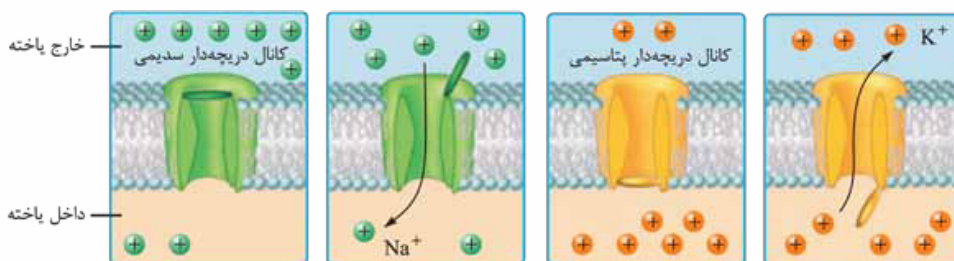
یک سلول عصبی حتمن به وسیلهٔ یک محرک تحریک می‌شود و آن محرک باعث ایجاد پیام عصبی در سلول عصبی می‌شود. پیام عصبی که خودبه‌خود در سلول عصبی ایجاد نمی‌شود! در حالت طبیعی در سلول عصبی پتانسیل آرامش وجود دارد. برای این که در نورون پیام عصبی به وجود بیاید، ۳ حالت وجود دارد:

• یک گیرندهٔ حسی غیرنورونی (در فصل بعد به طور مفصل می‌خوانید) که توسط محرک، تحریک شده و اثرش را روی نورون می‌گذارد.
• نورون حسی که به وسیلهٔ اثر محرک (خودش به طور مستقیم) تحریک می‌شود.

• و یا یک نورون دیگر که خودش پتانسیل عمل دارد و آن را به نورون جدید منتقل می‌کند. این ۳ حالت 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 است یا داخلی و یا یک نورون دارای پیام عصبی است که پیامش را به نورون فعلی می‌رساند.

کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی

۱۲ می‌خواهیم ببینیم کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی چه مدلی هستند. 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.

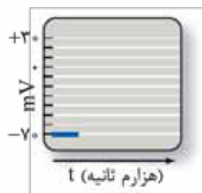
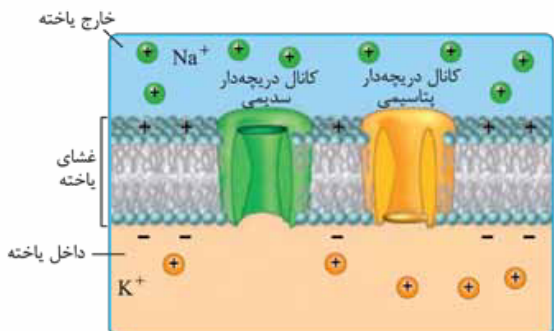
کانال دریچه‌دار پتاسیمی یک دریچه در پایین به سمت داخل سلول (در سمت داخل غشا) دارد که فقط هنگام خروج یون‌های پتاسیم از سلول طی پتانسیل عمل باز است.

چگونگی ایجاد پتانسیل عمل

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

• دقت کنید در شکل‌های این صفحه و صفحهٔ بعد یون‌های پتاسیم بیرون و یون‌های سدیم درون یاخته نشان داده نشده‌اند.

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 پتانسیل آرامش، سدیم‌ها در بیرون سلول بیشتر هستند و پتاسیم‌ها در درون سلول.

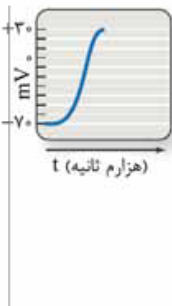
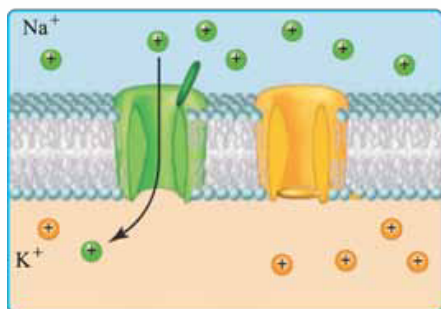
۲- در شکل می‌بینید که کانال دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی هر دو در این مرحله بسته‌اند و هیچ یونی از طریق آن‌ها جابه‌جا نمی‌شود.

۱- بدانید و آگاه باشید که کانال‌های نشتی همیشه باز هستند. با این که شما آن‌ها را در شکل نمی‌بینید ولی بدانید در شکل نیفتاده! ولی بازند و دارند سدیم‌ها و پتاسیم‌ها را در جهت شیب غلظتشان (سدیم را به درون و پتاسیم را به بیرون) جابه‌جا می‌کنند و چون نسبت به پتاسیم نفوذپذیری بیشتری دارند، پتاسیم‌ها را بیشتر خارج می‌کند. پمپ سدیم - 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.

۲- هم فعالیت پمپ سدیم - پتاسیم و هم نفوذپذیری بیشتر غشا به یون‌های پتاسیم باعث حفظ پتانسیل آرامش در حدود -70 میلی‌ولت در غشای نورون می‌شود.

۳- بدانید و آگاه باشید که پمپ سدیم - 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 -70 را نشان می‌دهد؛ یعنی پتانسیل درون نسبت به بیرون -70 میلی‌ولت است (پتانسیل غشا -70 میلی‌ولت است).

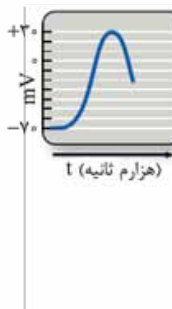
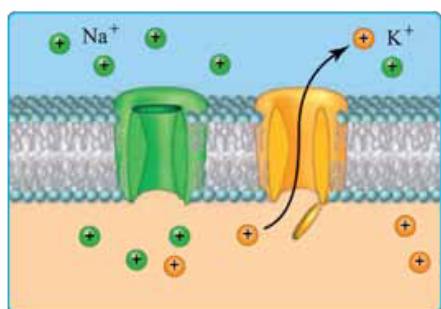


۲ مرحله صعودی (بالاروی) نمودار پتانسیل عمل

۱- در این مرحله با باز شدن دریچه کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، 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 -70 به $+30$ میلی‌ولت می‌رسانند.

۲- در قسمت بالاروی (صعودی) نمودار، ورود یون‌های سدیم از طریق انتشار تسهیل شده و در جهت شیب غلظت است. می‌بینید که در این مرحله کانال دریچه‌دار پتاسیمی هم چنان بسته است.

۳- در مرحله صعودی نمودار پتانسیل عمل، پتانسیل غشای درون سلول از -70 می‌رسد به $+30$ میلی‌ولت. دقت کنید در این حالت به خاطر ورود سدیم‌ها، درون یاخته شروع می‌کند به مثبت شدن و درون یاخته از -70 اول می‌شود صفر و بعد می‌رسد به $+30$ ، یعنی تغییرات پتانسیل غشا در این حالت 100 میلی‌ولت است (از -70 تا $+30$). یعنی درون 30 میلی‌ولت نسبت به بیرون مثبت‌تر است.



۳ مرحله نزولی (پایین‌روی) نمودار پتانسیل عمل

۱- در این مرحله پتاسیم‌ها از طریق کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی از سلول خارج شده و چون بار مثبت دارند و از سلول خارج می‌شوند، درون سلول نسبت به بیرون آن دوباره منفی می‌شود.

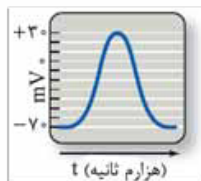
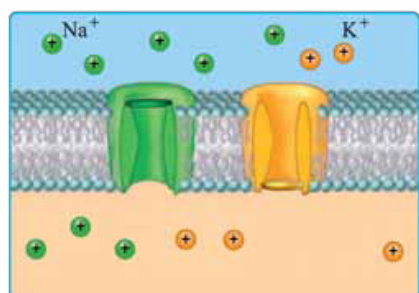
۲- با باز شدن دریچه کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، پتاسیم‌ها که درون سلول بیشتر از بیرون هستند، در جهت شیب غلظت، بدون مصرف انرژی، از طریق این کانال‌ها با انتشار تسهیل شده از سلول خارج می‌شوند.

۳- خروج پتاسیم از طریق کانال‌های دریچه‌دار از سلول، پتانسیل غشا

را از $+30$ به -70 میلی‌ولت می‌رساند. در این نقطه (پتانسیل -70) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌شوند. دقت کنید طی خروج پتاسیم‌ها هم یک بار دیگر در یک لحظه کوتاه اختلاف پتانسیل دو سمت غشا صفر شد، پتانسیل غشا از $+30$ رسید به صفر و بعد رسید به -70 . تغییرات پتانسیل غشا در این مرحله هم 100 میلی‌ولت است.

قله نمودار پتانسیل عمل، در پتانسیل $+30$ 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 $+30$ برسد. در نقطه $+30$ کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند و در نتیجه پتانسیل غشا از $+30$ مثبت‌تر نمی‌شود (دیگر سدیم بیشتری وارد نمی‌شود).

خب چرا در این نقطه پتانسیل غشا از $+30$ بیشتر نمی‌شود؟ چون کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده‌اند. چرا پتانسیل غشا از $+30$ کم‌تر نمی‌شود؟ چون هنوز کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز نشده‌اند؛ پس دقیقاً در یک لحظه هم کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده‌اند و هم کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز نشده‌اند (هر دو کانال بسته‌اند) که این لحظه قله نمودار را تشکیل می‌دهد.



۴ مرحله فعالیت بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم!

در پایان پتانسیل عمل، دوباره پتانسیل غشا به پتانسیل آرامش (-70) برمی‌گردد، توجه داشته باشید که در این‌جا چون یون‌های سدیم از طریق کانال‌های دریچه‌دار سدیمی به مقدار زیادی وارد سلول شدند و یون‌های پتاسیم هم از طریق کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی از سلول خارج شدند غلظت این دو یون در دو طرف غشای سلول نسبت به حالت آرامش متفاوت است.

پس از پایان پتانسیل عمل، فعالیت بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم دو سمت غشا را دوباره به حالت آرامش برمی‌گرداند.

البته یادتان نرود که همواره پتاسیم داخل سلول بیشتر از بیرون و سدیم بیرون سلول بیشتر از داخل آن است.

دقت کنید در انتهای پتانسیل عمل، ما پتانسیل حالت آرامش داریم، اما غلظت یون‌ها در دو سوی غشا، با غلظتشان در حالت آرامش تفاوت دارد و پس از پایان پتانسیل عمل با فعالیت بیشتر، پمپ سدیم - پتاسیم غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا دوباره به حالت آرامش بازمی‌گردد. ببینید حالت آرامش، حالتی است که هم پتانسیل آن، پتانسیل حالت آرامش (یعنی -70) است و هم آرایش یون‌ها در آن، آرایش یون‌ها در حالت آرامش است. در پایان پتانسیل عمل، پتانسیل حالت آرامش (یعنی -70) بین دو سوی غشا برقرار است، اما غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشای یاخته با حالت آرامش فرق می‌کند چرا که در اثر باز شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، کلی سدیم وارد یاخته شده است و در اثر باز شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، کلی پتاسیم از یاخته خارج شده است. حالا بعد از پایان پتانسیل عمل، پمپ سدیم - پتاسیم با فعالیت بیشترش موجب می‌شود غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا دوباره مثل غلظتشان در حالت آرامش شود.

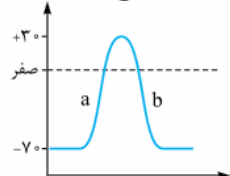




پتانسیل -70 mV که در مرحله پایانی پتانسیل عمل ایجاد می‌شود به دلیل خروج یون‌های پتاسیم (K^+) از داخل سلول به خارج آن به کمک کانال‌های دریچه‌دار به وجود می‌آید.

همیشه شیب غلظت پتاسیم به سمت بیرون و شیب غلظت سدیم به سمت داخل است. شاهدهی بر این ادعا این است که در پایان پتانسیل عمل که غلظت سدیم درون سلول بیشتر از قبل شده و همین‌طور پتاسیم بیرون سلول بیشتر از قبل شده است، اما پمپ سدیم - 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. هم‌چنین کانال‌های نشستی سدیمی و پتاسیمی هم همواره مثل پمپ سدیم - پتاسیم در حال فعالیت هستند.

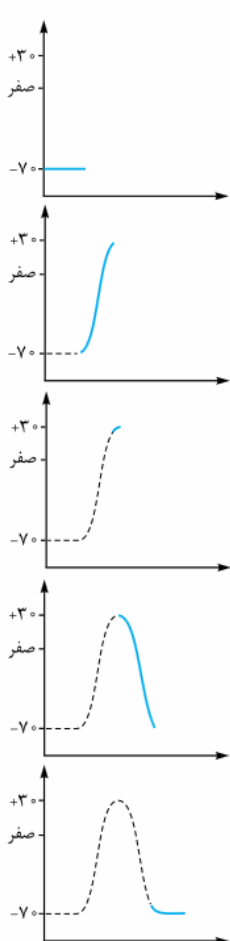
دقت کنید که در اختلاف پتانسیل صفر (بین پتانسیل -70 و $+30$) مجموع بار الکتریکی یون‌های داخل با یون‌های خارج در آن نقطه از سلول برابر است؛ نه این‌که شیب غلظت سدیم و پتاسیم صفر باشد. شیب غلظت سدیم همواره به سمت داخل و شیب غلظت پتاسیم همواره به سمت خارج است.



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 مرحله a صعودی و در حال افزایش است، بار مثبت درون است؛ اما اختلاف پتانسیل دو طرف غشا از 70 می‌رسد به صفر. در این حالت اختلاف پتانسیل در حال کاهش است. نگوئید از -70 تا صفر در حال افزایش است! نه! اختلاف پتانسیل 70 بیشتر از اختلاف پتانسیل صفر است (قبلن گفتیم که آن منفی در واقع مبدأ مقایسه را نشان می‌دهد)؛ پس در مرحله a ابتدا اختلاف پتانسیل دو طرف غشا کم می‌شود (70 ← صفر) و بعد افزایش می‌یابد (30 ← صفر). در مرحله b هم ابتدا اختلاف پتانسیل دو طرف غشا کاهش می‌یابد (30 ← صفر) و بعد افزایش می‌یابد (صفر ← 70).

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 قله نمودار آن که اختلاف پتانسیل به $+30$ میلی‌ولت می‌رسد، بیشترین اختلاف پتانسیل دو طرف غشاست. در حالی که این‌طوری نیست و -70 ، بیشترین اختلاف پتانسیل دو طرف غشا است که پس از خروج پتاسیم‌ها از نورون دیده می‌شود. پس بیشترین اختلاف پتانسیل دو طرف غشا 70 میلی‌ولت است (گفتیم آن منفی مهم نیست!) و داره پتانسیل 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؛ یک بار وقتی که کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز هستند و سدیم‌ها در حال ورود به سلول‌اند (مرحله صعودی نمودار، -70 ← صفر) و یک بار هم وقتی کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز هستند و پتاسیم‌ها در حال خارج‌شدن از سلول‌اند (مرحله نزولی نمودار، $+30$ ← صفر).

با توجه به شکل نمودار پتانسیل عمل می‌بینید که موج پتانسیل عمل در چند هزارم ثانیه رخ می‌دهد و ثبت می‌شود؛ پس خیلی کوتاه و سریع است.



جمع‌بندی کلی مرحله به مرحله از روی نمودار:

۱ پتانسیل آرامش:

- اختلاف پتانسیل دو سمت غشا: -70
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: بسته
- کانال‌های نشستی: باز
- پمپ سدیم - پتاسیم: در حال فعالیت

۲ مرحله صعودی نمودار پتانسیل عمل:

- تغییر پتانسیل دو سمت غشا از: -70 تا $+30$
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: بسته
- کانال‌های نشستی: باز
- پمپ سدیم - پتاسیم: در حال فعالیت

۳ قله نمودار پتانسیل عمل:

- اختلاف پتانسیل دو سمت غشا: $+30$
- در یک لحظه کوتاه کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شده‌اند و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی هنوز باز نشده‌اند.
- کانال‌های نشستی: باز و فعال
- پمپ سدیم - پتاسیم: در حال فعالیت

۴ مرحله نزولی نمودار پتانسیل عمل:

- تغییر پتانسیل دو سمت غشا از: $+30$ تا -70
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: باز
- کانال‌های دریچه‌دار سدیمی: بسته
- کانال‌های نشستی: **ول‌کن نیستن!**
- پمپ سدیم - پتاسیم: **بدر از کانال‌های نشستی!!**

۵ فعالیت بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم پس از پایان پتانسیل عمل:

- اختلاف پتانسیل دو سمت غشا: -70
- کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی: بسته
- کانال‌های نشستی: باز
- پمپ سدیم - پتاسیم: در حال فعالیت. با فعالیت بیشتر پمپ در این مرحله سدیم‌هایی که آمده‌اند تو، می‌روند بیرون و پتاسیم‌هایی که رفته‌اند بیرون، می‌آیند تو تا غلظت این یون‌ها در دو طرف غشا به حالت آرامش برگردد.



۱۸ انواعی 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 کانال‌های نشتی پتاسیمی	هر دو بدون مصرف ATP	انتشار تسهیل شده (در جهت شیب غلظت)	سدیم، وارد پتاسیم، خارج	باز هستند	باز هستند	—
پمپ سدیم-پتاسیم	با مصرف ATP	انتقال فعال (ضلاف شیب غلظت)	سدیم، خارج پتاسیم، وارد	فعال است	فعال است پس از پایان پتانسیل عمل، فعالیتش بیشتر است.	—
کانال‌های دریچه‌دار سدیمی	بدون مصرف ATP	انتشار تسهیل شده (در جهت شیب غلظت)	سدیم، وارد	بسته‌اند	باز هستند (در پتانسیل -70° تا $+30^{\circ}$)	
کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی	بدون مصرف ATP	انتشار تسهیل شده (در جهت شیب غلظت)	پتاسیم، خارج	بسته‌اند	باز هستند (در پتانسیل $+30^{\circ}$ تا -70°)	

۱- دقت کنید جهت انتشار در کانال‌های نشتی و دریچه‌دار (برای هر یون) مشابه بوده و در جهت شیب غلظت و از نوع تسهیل شده است.

۲- چه اختلاف پتانسیلی برای تحریک کانال‌های دریچه‌دار لازم است؟

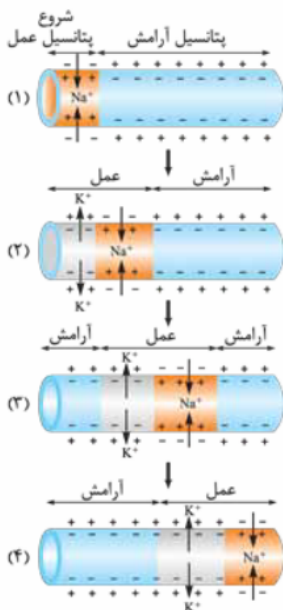
کانال‌های دریچه‌دار سدیمی در پتانسیل -70° باز می‌شوند و در پتانسیل $+30^{\circ}$ بسته می‌شوند؛ یعنی در پتانسیل -70° تا $+30^{\circ}$ باز هستند، پس میزان تغییر پتانسیل غشا در زمان بازبودن این کانال‌ها 100 میلی‌ولت است.

کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی در پتانسیل $+30^{\circ}$ باز می‌شوند و در پتانسیل -70° بسته می‌شوند؛ پس در محدوده پتانسیل $+30^{\circ}$ تا -70° باز هستند و تغییرات پتانسیل غشا در زمان بازبودن این کانال‌ها هم، 100 میلی‌ولت است.

هدایت پیام عصبی و نقش گره رانویه در آن

وقتی پتانسیل عمل در یک نقطه از یاخته عصبی ایجاد می‌شود، نقطه به نقطه پیش می‌رود تا به انتهای رشته عصبی برسد. به این جریان می‌گویند پیام عصبی. رشته عصبی؟ به آسه یا دارینه بلند می‌گویند رشته عصبی.

دقت کنید در یک لحظه همه نورون دارای پتانسیل عمل نمی‌شود. پتانسیل عمل در یک نقطه از سلول عصبی ایجاد شده و نقطه به نقطه به سمت انتهای آکسون جلو می‌رود. وقتی پتانسیل عمل از نقطه مثلن A به نقطه B رفت، نقطه A مجدداً به پتانسیل آرامش برمی‌گردد.



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

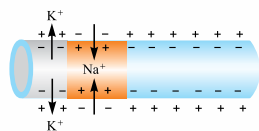
۱ در شکل (۱) می‌بینید در سمت چپ نورون با ورود یون‌های سدیم، پتانسیل عمل شروع شده است. سدیم‌ها وارد شده‌اند و درون را نسبت به بیرون مثبت کرده‌اند.

۲ در شکل (۲) در ادامه پتانسیل عمل قبلی؛ در نقطه قبلی در مرحله (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 نقطه بعدی (نقطه جلوتر) پتانسیل عمل بعدی شروع شده و سدیم‌ها وارد سلول شده‌اند و درون را نسبت به بیرون مثبت کرده‌اند.

دقت کنید فلشی که با آن محدوده پتانسیل عمل را در مرحله (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 مرحله (۱) سدیم‌ها به آن وارد شده بودند) و ورود سدیم‌ها مربوط به پتانسیل عمل نقطه جدید است که خروج پتاسیم آن را در مرحله (۳) می‌بینید.

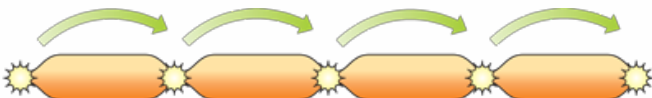
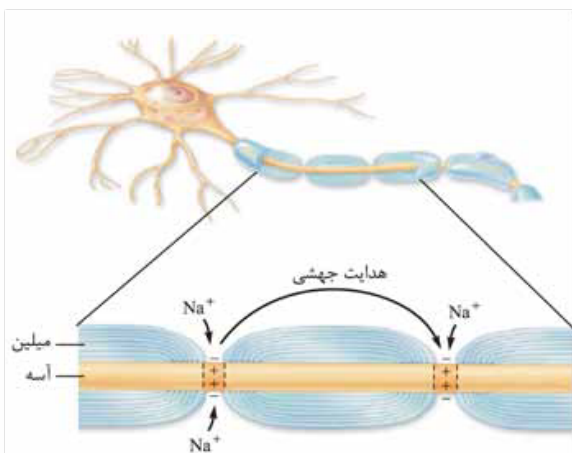
۳ در مرحله (۳) می‌بینید که نقطه اول کاملن به حالت آرامش برگشته است، نقطه دوم در حال خارج کردن پتاسیم است و در نقطه جدید دیگری کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز شده‌اند و یون‌های Na^+ در حال ورود به سلول هستند و درون را نسبت به بیرون مثبت کرده‌اند. فلش پتانسیل عمل در این مرحله هم مربوط به پتانسیل عمل دو نقطه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

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



همان‌طور که می‌بینید پتانسیل عمل همین‌طور! نقطه به نقطه (در این شکل 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 نقطه مختلف از نورون (شکل روبه‌رو).

نقش گره‌های رانویه در هدایت پیام عصبی



هدایت پیام عصبی در رشته‌های میلین‌دار؛ گره به گره!

در درس‌نامه 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 بین سلولی (با محیط اطراف) در ارتباط است.

تماس مایع بین سلولی 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 رانویه دیگر می‌جهد. به همین علت به این هدایت، **هدایت جهشی** می‌گویند.

میلین‌ها باعث عایق‌شدن قسمت‌های دارای میلین می‌شوند و در آن قسمت‌ها یون‌ها نمی‌توانند از غشا عبور کنند و پیام عصبی (پتانسیل عمل) ایجاد نمی‌شود. در گره‌های رانویه که مایع خارج سلولی 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 است، پس سرعت هدایت پیام عصبی در نورون‌های میلین‌دار بیشتر از نورون‌های هم‌قطر فاقد میلین است.

در ماهیچه‌های اسکلتی سرعت هدایت پیام عصبی اهمیت زیادی دارد (مثلن در انعکاس‌ها که جلوتر می‌خوانید) به همین علت نورون‌های حرکتی که پیام حرکتی را به آن‌ها ارسال می‌کنند، میلین‌دار هستند. نورون‌های حرکتی آکسونشان میلین‌دار است.

کاهش یا افزایش مقدار میلین باعث ایجاد بیماری می‌شود؛ مثلن در بیماری **ام. ایس (مالتیپل اسکلروزیس^۱)**، سلول‌های پشتیبانی که در دستگاه عصبی مرکزی میلین می‌سازند، از بین می‌روند؛ در نتیجه ارسال پیام‌های عصبی به درستی انجام نمی‌شود و **بینایی و حرکت مختل** و فرد دچار بی‌حسی و لرزش می‌شود. ۱- در فصل ۵ همین کتاب می‌خوانید که در بیماری ام. ایس، دستگاه ایمنی به سلول‌های پشتیبانی که غلاف میلین می‌سازند در دستگاه عصبی مرکزی (نه محیطی) حمله می‌کند و آن را در قسمت‌هایی 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 بقیه بدن اختلال به وجود می‌آید. ام. ایس چون به دلیل عملکرد اشتباه دستگاه ایمنی انسان ایجاد می‌شود، نوعی بیماری **خودایمنی** محسوب می‌شود. خودایمنی یعنی دستگاه ایمنی انسان سلول‌های خودی را به عنوان غیرخودی شناسایی کرده و به آن‌ها حمله می‌کند و باعث بیماری می‌شود.

۲- پس در ام. ایس، هر نورون میلین‌داری مورد آسیب و حمله قرار نمی‌گیرد. تنها نورون‌های میلین‌داری که در دستگاه عصبی مرکزی (مغز و نخاع) قرار دارند در خطر هستند. ضمن هر نورونی که در دستگاه عصبی مرکزی باشد هم لزومن در خطر نیست، فقط آن‌هایی که میلین‌دار هستند در خطر هستند. ۳- بیماری ام. ایس باعث افزایش تماس غشای نورون‌ها در دستگاه عصبی مرکزی با مایع بین سلولی می‌شود.

هم میلین در سرعت هدایت نقش تعیین‌کننده دارد و هم قطر نورون. هر چه قطر 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 میلین دارند، چون سرعت هدایت پیام عصبی در آن نورون‌ها باید زیاد باشد تا آن حرکات به اندازه کافی سریع باشند (یاد ماهیچه‌های اسکلتی و انعکاس‌ها بیفتید).

۳- انعکاس‌ها را جلوتر می‌خوانید! انعکاس پاسخ سریع و غیرارادی ماهیچه‌ها در پاسخ به محرک‌هاست تا از بدن در برابر خطرات احتمالی محافظت کند! مثلن وقتی دستتان را به جسم خیلی خیلی داغی می‌زنید به صورت غیرارادی آن را عقب می‌کشید، این حرکت نوعی انعکاس است که سرعت بالایی دارد و نورون‌های انجام‌دهنده‌اش میلین دارند.

گفتیم در نورون‌ها و رشته‌های میلین‌دار، پتانسیل عمل از یک گره به گره رانویه دیگر جهش می‌کند و در فاصله بین دو گره رانویه پتانسیل عمل **تشکیل نمی‌شود**. فعالیت ۴ صفحه 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 توسط غلاف میلین عایق‌بندی شده است) فاقد کانال‌های دریچه‌دار هستند، پس پتانسیل عمل در طول این رشته‌ها به طور پیوسته تشکیل نمی‌شود بلکه از یک گره رانویه جهش می‌کند به گره رانویه 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.

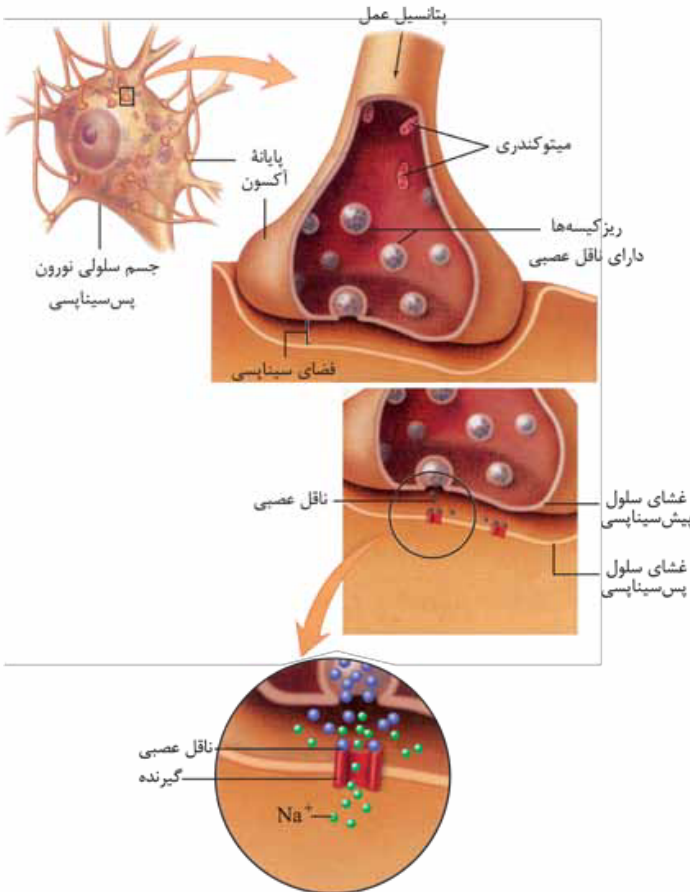




راستی! در نورون‌های فاقد میلین و همین‌طور در رشته‌های بدون میلین نورون‌ها که هدایت، جهشی نیست، در تمام طول نورون و تمام طول رشته، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی حضور دارند؛ مثل نورون‌های رابطی که در شکل ۳ کتاب نشان داده شده است و هم دندریت و هم آکسون آن فاقد میلین است.

۳ سیناپس (همایه)

۳۵ گفتیم که هدایت پیام عصبی یعنی حرکت آن در طول یک نورون و انتقال پیام عصبی یعنی حرکت آن از یک نورون به یک سلول دیگر. سلول‌های عصبی با هم در ارتباط‌اند، اما این ارتباط به صورت فیزیکی نیست یعنی به هم وصل نیستند. آن‌ها به شکل خاص (ویژه‌ای) با هم در ارتباط‌اند



که به این نوع ارتباط **همایه سیناپس** می‌گویند. انتقال پیام عصبی از طریق سیناپس انجام می‌شود. در محل سیناپس دو سلول داریم که غشاهایشان از هم کمی فاصله دارد و به هم نمی‌چسبند. به این فاصله می‌گویند **فضای همایه‌ای (فضای سیناپسی)** که یک فضای بین سلولی است؛ پس فضای سیناپسی، فضای بین سلول‌ها در محل سیناپس است. در سیناپس به سلولی که پیام را می‌آورد (**انتقال می‌دهد**)، می‌گویند **سلول پیش‌سیناپسی** که نورون است و یا یک سلول گیرنده حسی. به سلولی که پیام عصبی را دریافت می‌کند، می‌گویند **سلول پس‌سیناپسی** که این سلول می‌تواند ۳ حالت داشته باشد: نورون، سلول غده‌ای (درون‌ریز - برون‌ریز) و سلول ماهیچه‌ای (اسکلتی، صاف، قلبی).

برای انتقال پیام عصبی، از سلول پیش‌سیناپسی، ماده‌ای به نام **ناقل عصبی** در فضای سیناپسی آزاد می‌شود و این ماده بر روی سلول پس‌سیناپسی اثر می‌گذارد.

۳۶ وقتی پیام عصبی به پایانه آکسونی رسید باید یک جوری این فاصله را طی کند، اما متأسفانه نمی‌تواند ببرد و خودش را به سلول پس‌سیناپسی برساند. انتقال پیام عصبی یک فرایند شیمیایی است؛ یعنی پتانسیل عمل که فرایندی الکتریکی است، در پایانه آکسونی تبدیل به یک فرایند شیمیایی می‌شود. ناقل عصبی در نورون‌ها ساخته و درون کیسه‌های کوچکی (ریزکیسه‌ها) ذخیره می‌شود. این کیسه‌ها در طول آکسون هدایت می‌شوند و به پایانه آکسون می‌رسند.

این که ریزکیسه‌ها در طول آکسون هدایت می‌شوند، یعنی ناقل عصبی باید در جسم سلول ساخته شده باشند.

وقتی پیام به پایانه آکسون می‌رسد باعث می‌شود کیسه‌های حاوی ناقل عصبی، به غشای سلول پیش‌سیناپسی متصل بشوند و از طریق برون‌رانی و با صرف انرژی، ناقل عصبی را به درون فضای سیناپسی بریزند. در شکل بالا میتوکندری‌ها را در پایانه آکسونی می‌بینید. در پایانه آکسون میتوکندری‌های زیادی وجود دارند که انرژی لازم برای برون‌رانی ناقل عصبی به فضای سیناپسی را فراهم می‌کنند. ناقل‌های عصبی مولکول‌های کوچک شیمیایی هستند که پیام عصبی را در سیناپس منتقل می‌کنند. این ناقل‌های عصبی در غشای سلول‌های پس‌سیناپسی **گیرنده** پروتئینی دارند. ناقل‌ها به سطح خارجی گیرنده‌های غشای سلول پس‌سیناپسی می‌چسبند.

این پروتئین‌های غشایی (گیرنده‌ها) کانال هم هستند و وقتی ناقل عصبی به آن‌ها متصل می‌شود، این کانال‌ها باز می‌شوند.

پروتئین‌های کانالی گیرنده‌ها در غشای سلول پس‌سیناپسی، از نوع کانال دریچه‌دار هستند.

اتصال انتقال‌دهنده عصبی به گیرنده‌اش در غشای سلول پس‌سیناپسی باعث تغییر نفوذپذیری غشای سلول پس‌سیناپسی به یون‌ها و در نتیجه باعث تغییر پتانسیل الکتریکی سلول پس‌سیناپسی می‌شود. براساس این که ناقل عصبی **تحریک کننده** باشد یا **بازدارنده**، این تغییر پتانسیل باعث **مهاردن** یا **فعال شدن** سلول پس‌سیناپسی می‌شود، چه این سلول نورون باشد، چه سلول ماهیچه‌ای باشد، چه سلول غده‌ای.

۳۷ پس مراحل انتقال پیام عصبی در سیناپس این‌جوری شد:

- ۱ رسیدن پیام عصبی به پایانه آکسون
- ۲ اتصال ریزکیسه‌های حاوی ناقل عصبی به غشای سلول پیش‌سیناپسی
- ۳ برون‌رانی و ورود ناقل عصبی به فضای سیناپسی
- ۴ اتصال ناقل عصبی به پروتئین گیرنده در غشای سلول پس‌سیناپسی
- ۵ تغییر پتانسیل الکتریکی سلول پس‌سیناپسی
- ۶ مهار سلول پس‌سیناپسی یا تحریک آن (پتانسیل عمل در نورون، ترشح در غده و انقباض در ماهیچه)





۱- به خاطر داشته باشید که سیناپس بین نورون و ماهیچه و سیناپس بین نورون و غده، همیشه از نوع تحریکی است اما سیناپس بین دو نورون می‌تواند مهار یا تحریکی باشد. راجع به این موضوع جلوتر بیشتر بحث خواهیم کرد.

۲- حواستان باشد که خود ریزکیسه‌های حاوی ناقل عصبی، هیچ‌گاه به فضای سیناپسی آزاد نمی‌شوند؛ بلکه طی فرایند برون‌رانی به غشای سلول پیش‌سیناپسی اضافه می‌شوند و فقط محتوایشان وارد فضای سیناپسی می‌شود.

۳- ما ۲ نوع سیناپس بین نورون‌ها داریم: سیناپس مهار و سیناپس تحریکی. در سیناپس مهار ناقل عصبی مهارکننده آزاد می‌شود و به گیرنده خود در غشای سلول پس‌سیناپسی می‌چسبد. در سیناپس تحریکی، سلول پیش‌سیناپسی ناقل تحریکی آزاد می‌کند. پس براساس این که ناقل عصبی تحریک‌کننده یا بازدارنده باشد، یاخته‌ پس‌سیناپسی تحریک یا مهار می‌شود. یادتان باشد چه در سیناپس مهار و چه در سیناپس تحریکی، پتانسیل غشای سلول پس‌سیناپسی پس از اتصال ناقل عصبی تغییر می‌کند.

۴- اگر سیناپس تحریکی باشد، اتصال ناقل عصبی به گیرنده غشای سلول پس‌سیناپسی، باعث ایجاد پتانسیل عمل و باز شدن کانال دریچه‌دار سدیمی (اگر سلول پس‌سیناپسی نورون باشد)، انقباض ماهیچه (اگر سلول پس‌سیناپسی سلول ماهیچه‌ای باشد) و یا ترشح از غده (اگر سلول پس‌سیناپسی غده باشد) می‌شود. گفتیم اگر سیناپس تحریکی باشد کانال‌های دریچه‌دار سدیمی در سلول پس‌سیناپسی باز می‌شوند و سدیم‌ها وارد سلول پس‌سیناپسی می‌شوند. شاید بد نباشد بدانید که چگونه در سیناپس مهار تغییر پتانسیل غشا را داریم اما بدون پتانسیل عمل. اگر سیناپس مهار باشد، در سیناپس مهار با نشست ناقل عصبی مهار روی گیرنده‌های سلول پس‌سیناپسی، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی این سلول باز می‌شوند و پتاسیم‌ها از سلول خارج شده و وارد فضای سیناپسی می‌شوند. این اتفاق در نهایت باعث منفی‌تر شدن داخل سلول (نسبت به پتانسیل آرامش) می‌شود. در هر دو صورت، پتانسیل الکتریکی دو طرف غشای سلول پس‌سیناپسی تغییر می‌کند.

۵- در مورد سیناپس و انتقال پیام عصبی به نکات زیر هم توجه بفرمایید:

۱- با توجه به شکل‌های ۳ و ۱۰ کتاب درسی متوجه می‌شوید که اگر سلول پس‌سیناپسی نورون باشد، آکسون و پایانه آکسونی نورون پیش‌سیناپسی می‌تواند با **دندریت** و **جسم سلولی نورون پس‌سیناپسی** سیناپس تشکیل دهد.

۲- سلول پیش‌سیناپسی و پس‌سیناپسی بودن یک رابطه نسبی است نه مطلق. مثلاً فرض کنید که نورون حسی A پیام را می‌برد به نورون رابط B و آن هم پیام را می‌برد به نورون حرکتی C. در این‌جا نورون رابط B برای نورون A، سلول پس‌سیناپسی است؛ در حالی که برای نورون C، سلول پیش‌سیناپسی است.

۳- سلول‌های گیرنده حس، فقط می‌توانند سلول پیش‌سیناپسی باشند چون قبل از آن‌ها سلولی نیست که پیام را به آن‌ها منتقل کند. البته در فصل بعد می‌خوانید که گیرنده حس می‌تواند یک سلول پیش‌سیناپسی برای نورون حسی یا بخشی از خود نورون حسی (دندریت نورون حسی) باشد.

۴- یادتان باشد که ناقل عصبی وارد سلول پس‌سیناپسی نمی‌شود، بلکه در سطح خارجی غشای آن به گیرنده خود متصل می‌شود.

۵- دقت کنید تا این‌جا فهمیدیم دو نوع کانال دریچه‌دار سدیمی داریم. یک نوع کانال دریچه‌دار سدیمی بود که طی تحریک نورون و پتانسیل عمل باز می‌شد و سدیم‌ها از طریق آن وارد سلول می‌شدند. این‌جا با نوع دیگری کانال دریچه‌دار سدیمی آشنا شدید که در سلول پس‌سیناپسی مثلاً در غشای دندریت یا جسم سلولی قرار دارد. این کانال‌ها، گیرنده‌هایی دارند که به ناقل‌های عصبی حساس هستند و در صورت اتصال با آن‌ها دریچه‌شان باز می‌شود. طبق شکل ۱۰ قسمت (الف) می‌بینید که دو تا ناقل روی گیرنده‌های یکی از کانال‌ها می‌شینند و باعث باز شدن کانال می‌شود.

۶- چون بعد از انتقال پیام عصبی، فضای سیناپسی باید از مولکول‌های ناقل عصبی باقی‌مانده تخلیه شود تا از انتقال

بیش از حد پیام عصبی جلوگیری شود و امکان انتقال پیام‌های جدید هم فراهم باشد، بنابراین ناقل‌های عصبی باقی‌مانده یا زود در فضای سیناپسی توسط آنزیم‌هایی تجزیه می‌شوند و یا مجدد به سلول پیش‌سیناپسی جذب می‌شوند. اگر در میزان طبیعی ناقل‌های عصبی تغییر ایجاد شود، در کار دستگاه عصبی اختلال ایجاد شده و منجر به بیماری می‌شود؛ به این معنی که اگر ناقل عصبی خیلی زیاد باشد و تجزیه نشود، تحریک یا مهار سلول پس‌سیناپسی به مدت طولانی‌تری انجام می‌گیرد و برعکس اگر کم باشد تحریک یا مهار آن خیلی کم انجام می‌شود که در هر دو حالت دستگاه عصبی نمی‌تواند به درستی عمل خود را انجام دهد.

۱- با توجه به موضوع بالا می‌توانیم نتیجه بگیریم در فضای سیناپسی فعالیت آنزیمی داریم.

۲- ناقل عصبی برای جذب دوباره به سلول پیش‌سیناپسی، با درون‌بری (آندوسیتوز) به آن برمی‌گردد.

۳- در فصل ۴ می‌خوانید مولکولی که پیامی را از یک نقطه به نقطه دیگری می‌برد، پیک شیمیایی نام دارد. پیک‌های شیمیایی دو دسته‌اند: کوتاه‌برد و دور‌برد. ناقل‌های عصبی پیک‌های کوتاه‌برد هستند، چون بین سلول‌هایی ارتباط برقرار می‌کنند که در نزدیکی هم هستند. این پیک‌ها از سلول پیش‌سیناپسی ترشح شده و بر سلول پس‌سیناپسی اثر می‌کنند. در مقابل ناقل‌های عصبی که پیک‌های کوتاه‌بردند، هورمون‌ها پیک‌های دور‌بردند، چون پیام را از راه خون و به فاصله‌ای دورتر می‌توانند منتقل کنند.

در همان فصل می‌خوانید گاهی نورون‌ها پیک شیمیایی را به خون ترشح می‌کنند که در این صورت این پیک یک هورمون محسوب می‌شود، نه یک انتقال‌دهنده عصبی، پس داریم هورمونی که از نورون ترشح می‌شود! مثل نوراپی‌نفرین و اکسی‌توسین.

