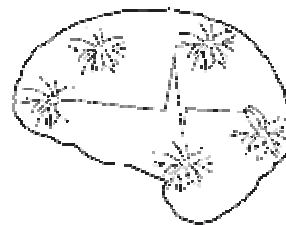
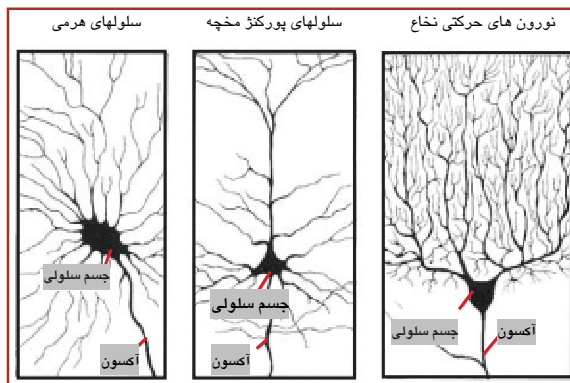


# نورونها و پتانسیل عمل

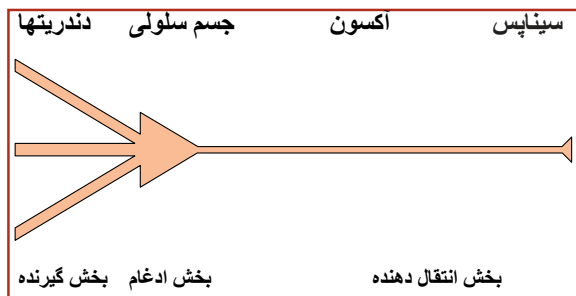


همه سلول های عصبی یا نورونها چه حسی باشند، چه حرکتی و چه بزرگ یا کوچک فعالیتشان هم الکتریکی است و هم شیمیایی . برای تنظیم کردن وضعیت کلی سیستم عصبی نورونها هم با یکدیگر همکاری می کنند و هم با هم رقابت دارند درست مانند افراد یک اجتماع که در هنگام تصمیم گیری در یک مورد خاص با یکدیگر همکاری و رقابت می کنند . پیام های عصبی شیمیایی پس از اینکه از آکسونها به دندریتها منتقل می شوند به پیام های الکتریکی تبدیل شده و به سایر پیامهای الکتریکی دریافت شده از سیناپسهای دیگر اضافه یا از آن کم می گردند و در نهایت بر اساس برآیند این پیامهای الکتریکی در مورد اینکه پیام عصبی به محل دیگری منتقل گردد یا نه تصمیم گیری می شود . به همین ترتیب پتانسیلهای الکتریکی می توانند در مسیر سلول عصبی تا آکسونها حرکت کرده و در سیناپس بعدی به دندریت نورون دیگری منتقل شوند و این چرخه همینطور ادامه می یابد .



## نورون پویا

همانطور که در فصل پیش گفته شد یک نورون شامل دندریتها ، یک جسم سلولی ، یک آکسون و پایانه های سیناپسی است . از لحاظ عملکردی یک نورون شامل بخش گیرنده (دندریتها) ، بخش ادغام (جسم سلولی) و بخش انتقال دهنده پیام عصبی (آکسونها) می باشد . در اصطلاح به این مفهوم که تمام اطلاعات پردازش شده در نورون در یک جهت حرکت می کند قطبیدگی (polarization) می گویند .

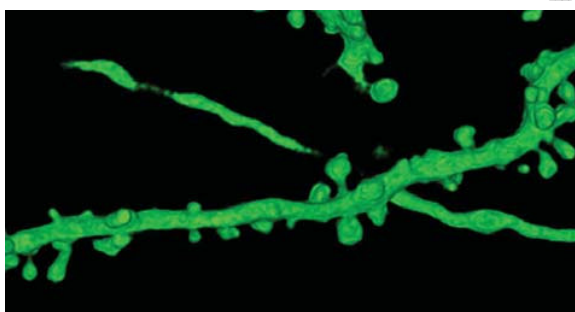


## بخشهای اصلی یک نورون

مانند هر ساختار دیگری این ساختار نیز باید به روشی ذراتش کنار هم نگه داشته شود . غشاء خارجی نورونها از ذراتی با ساختار چربی تشکیل شده . بدور این غشاء اسکلت سلولی که از لوله های توبولی و پروتئینهای فیلامنتی تشکیل شده ، پیچیده شده است . درست مانند چادری که بر روی ساختار لوله ای پایه اش بنا شده . بخشهای مختلف یک نورون دائماً در حال حرکت هستند . در طول این پروسه تغییر شکل و نوآرایی این بخشها در حقیقت بیانگر میزان فعالیت خود و یا بخشهای مجاور خود است . دندریتها تغییر شکل می دهند ، روابط جدیدی برقرار می کنند و یا ممکن است به برخی روابط خاتمه دهند . آکسونها می توانند در زمانی که سلول عصبی می خواهد به اصطلاح با صدای بلندتری با سلولهای مجاور صحبت کند ( با شدت بیشتری با سلول های مجاور ارتباط برقرار کند ) پایانه های جدیدی ایجاد کنند.

## 3 نوع مختلف سلول عصبی

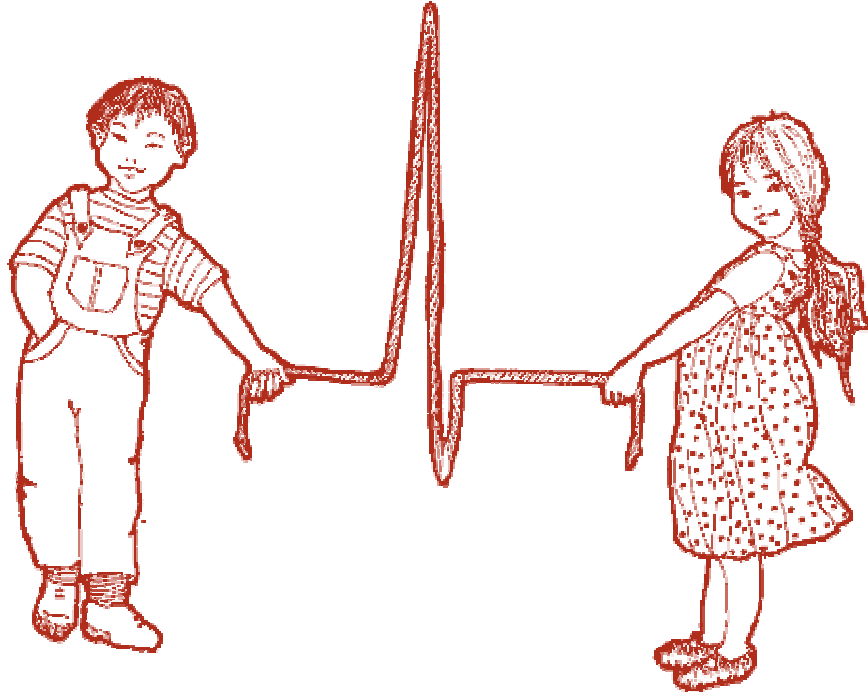
نورونها در درون خود دارای اجزای داخلی بسیاری می شوند . مانند پروتئینها که اغلب در جسم سلولی تولید شده و از بین اسکلت سلولی عبور می کنند . برآمدگی های کوچکی که از دندریتها بیرون می زنند را خارهای دندریتی (dendritic spines) می نامند . در محل این برآمدگیها بیشتر اتصالات به آکسونها برقرار می شود . پروتئینهایی که به نخاع منتقل می شوند برای ایجاد و حفظ فعالیت نورونها بسیار مهم می باشند . این پروتئینها مرتباً توسط پروتئینهای جدید جایگزین می شوند تمام این فعالیتها مستلزم مصرف انرژی و سوخت است که توسط کارخانه های انرژی درون سلول (میتوکندری) تامین می گردد . پایانه های آکسونها نیز می توانند تحت تاثیر فاکتورهای رشد (growth factors) قرار گیرند . این فاکتورها در محل پایانه های آکسونی به داخل سلول وارد شده و به جسم سلولی رسانده می شوند و در آنجا می توانند از طریق تاثیر بر میزان بیان ژنهای نورونها بر ساخت پروتئینهای جدید تاثیر داشته باشند . این تاثیرات می تواند سلول را قادر سازد تا دندریتهای بلندتری بسازد و یا تغییر پویای دیگری در شکل یا عملکرد خود ایجاد کند . اطلاعات ، مواد غذایی و پیامبرها (messengers) در تمام مدت به سمت جسم سلولی یا از جسم سلولی یا از جسم سلولی به بخشهای دیگر نورون در حالت حرکت هستند



خارهای دندریتی برآمدگیهای بسیار کوچک سبز رنگی هستند که از دندریتهای سبزرنگ نورون بیرون زده اند . اینجا محلی است که اکثر سیناپسها شکل می گیرد

## دریافت و تصمیم گیری

در بخش دریافت کننده یک سلول عصبی ، دندریتها در فاصله بسیار بسیار نزدیکی از آکسون ورودی سلولی دیگر قرار دارند ( فاصله ای در حد ۲۰ میلیاردم متر) یک دندریت می تواند در تماس با یک سلول عصبی ، تعداد کم و یا حتی هزاران سلول عصبی دیگر باشد . این محل های اتصال در سلول های عصبی سیناپس گفته می شود . این واژه از یک واژه یونانی به معنی در آغوش گرفتن چیزی ( یا بین دو چیز قلاب بستن ) گرفته شده .



اکثر سیناپسهای قشر مخ در محل خارهای دندریتی واقع شده اند که مانند میکروفونهایی بیرون زده اند و منتظر سیگنالهای ضعیف ورودی هستند . ارتباط بین سلول های عصبی در محل سیناپسها ، انتقال سیناپسی نامیده می شود که شامل یک فرآیند شیمیایی است که در فصل بعد مفصل توضیح داده خواهد شد . زمانی که یک دندریت یکی از پیامبرهای شیمیایی که از آکسون سلول دیگری که فضای ما بین آزاد شده را دریافت می کند ، جریانهای مینیاتوری الکتریکی در داخل خار دندریتی ایجاد می گردد . این جریانها که معمولا به سمت داخل سلول حرکت می کنند را تحریک (excitation) و اگر به خارج از سلول حرکت می کنند ، مهار می نامند .

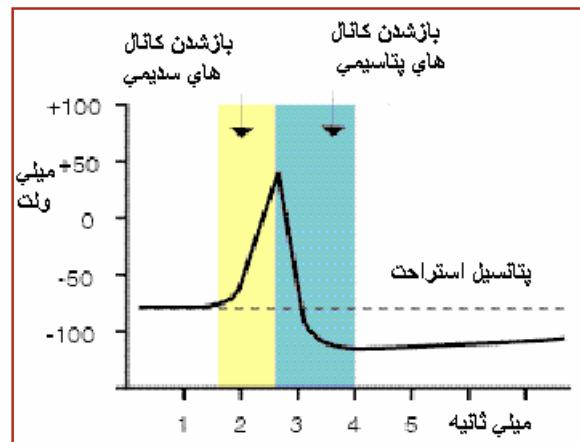
همه این جریانهای مثبت و منفی در دندریتها جمع شده و به سمت جسم سلولی حرکت می کنند . اگر مقدار این جریانها در مجموع بتواند از میزان آستانه ای بالاتر رود ، سلول عصبی می تواند پیامی را به سلول دیگر منتقل کند . در غیر این صورت جریانهای ضعیف موجود به زودی از بین می روند و هیچ اتفاقی نمی افتد . سپس نورون مشابه یک ماشین حساب بسیار کوچک مینیاتوری مدام در حال جمع زدن یا کم کردن پیام هایی است که از سایر نورونها دریافت می کند . بعضی سیناپسها تحریکی و بعضی مهار می اند . نحوه تاثیر این پیامها در تشکیل پایه و اساس حواس ، فکر کردن و یا حرکت به مقدار زیادی به این بر می گردد که سلول عصبی ما در چه شبکه ای قرار گرفته است .

## پتانسیل عمل

برای ارتباط بین یک نورون با نورون دیگر ، پیام عصبی در ابتدا می بایست در طول آکسون جلو رود . نورونها چگونه این عمل را انجام می دهند ؟

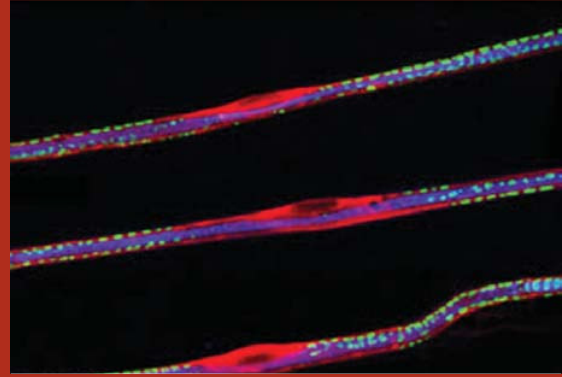
جواب این سوال در انرژی ذخیره شده به شکل گرادینهای فیزیکی و شیمیایی و در نحوه ترکیب کردن این نیروها با یکدیگر است . در طول اکسونهای نورونها پالسهای الکتریکی به نام پتانسیل های عمل به جلو پیش می روند درست مانند امواجی که در طول طناب بازی به جلو می روند .

بعضی کانالها ، یون سدیم وارد می کنند ( $Na^+$ ) و برخی یون پتاسیم ( $K^+$ ) . زمانی که کانالها باز می شوند در پاسخ به دیپلاریزاسیون الکتریکی غشاء یونهای سدیم و پتاسیم در جهت خلاف گرادیان شیمیایی و الکتریکی خود به داخل یا خارج سلول جاری می شوند .



پتانسیل عمل

## تازه ترین یافته ها



رشته های عصبی در شکل فوق ( رنگ بنفش نمایانگر آکسونها است ) توسط سلولهای شوان (قرمز) پوشیده شده اند که انتقال الکتریکی در طول رشته عصبی را در برابر محیط اطراف عایق بندی می کند . نقاط رنگی در شکل مواد فلورسانت هستند که نشانگر یک مجموعه پروتئینی در غلاف شوان می باشند که نقش و ساختار آن به تازگی کشف شده . تحقیقات نشان می دهند اختلال در این پروتئین ها می تواند با ایجاد یک نوع بیماری منجر به تحلیل عضلانی گردد.

همانطور که دیدید ، یونهای کمی برای ایجاد پتانسیل عمل باید از غشاء عبور کنند و در غلظت یونهای پتاسیم و سدیم نیز تغییر چشمگیری ایجاد نخواهد شد . ولی در مدت زمان بیشتر غلظت این یونها در داخل و خارج سلول می بایست متعادل نگه داشته شود . این عمل از جمله وظایف پمپهای یونی است . وظیفه این پمپها این است که یونهای سدیم اضافی را از سلول خارج کنند . درست مانند کشتی است که به علت داشتن سوراخ کوچک در بدنه اش به داخل آن کمی آب نشت می کند و ما این آب اضافه را از داخل کشتی با سطل بیرون می ریزیم بدون اینکه به مقاومت این سوراخ کوچک در برابر فشار آبی که کشتی بر روی آن در حرکت است لطمه ای وارد کنیم .

می توان گفت ، پتانسیل عمل یک جریان الکتریکی پیچیده است . رشته های عصبی مانند رساناهای الکتریکی عمل می کنند (اگرچه کارایی شان بسیار کمتر از سیمهای عایق دار است) در نتیجه وقتی یک پتانسیل عمل در جایی ایجاد می شود ، یک گرادیان ولتاژی بین سلول فعال و غشاء سلول در حال استراحت مجاور آن ایجاد شده و به همین ترتیب پتانسیل عمل به شکل یک موج دیپلاریزاسیون از یک سر رشته عصبی تا سر دیگر آن منتقل می گردد.

مثالی که شما را در فهم نحوه جابجایی پتانسیل عمل کمک می کند انتقال انرژی در طول فشفشه های آتش بازی است . اولین شعله آتش در یک سر فشفشه موجب ایجاد جرقه های سریع در محل (معادل یونهایی که در محل پتانسیل عمل به داخل و خارج اکسون جریان پیدا می کنند ) و انتقال انرژی در طول فشفشه می شود . اگرچه سرعت انتقال انرژی در یک فشفشه بسیار کمتر از سرعت انتقال پتانسیل عمل در سلول عصبی است . تفاوت دیگر این مثال با سلولهای عصبی در خاصیت شگفت انگیز رشته های عصبی است که قادرند بعد از یک زمان کوتاه بدون فعالیت (refractory period) غشاء آکسونی که تا لحظه ای پیش پتانسیل عمل را منتقل کرده بود قادر است مجددا قابلیت انفجاری خود را باز یابد و برای پتانسیل عمل بعدی آماده شود . بخش زیادی از این اطلاعات در نتیجه آزمایشات شگفت انگیزی بدست آمده که حدوداً ۵۰ سال پیش بر روی نورونهای بسیار بزرگ و آکسونهای برخی جانوران دریایی انجام شد . اندازه بزرگ این سلولها محققین را قادر ساخت تا الکترودهای بسیار کوچکی را داخل سلول قرار دهند و تغییرات ولتاژی الکتریکی را بسنجند .

امروزه به کمک تکنیک مدرنی به نام تکنیک **Patch-clamping** ، دانشمندان علوم اعصاب می توانند جابجایی یونها در هر کانال یونی را در انواع مختلف نورونها بررسی کرده و با دقت بسیاری این جریانهای عصبی را که بسیار شبیه جریانهای عصبی مغز انسان است اندازه گیری کنند .

### عایق بندی آکسونها

در بسیاری از آکسونها انتقال پتانسیل عمل با این که به خوبی انجام می شود از سرعت بالایی برخوردار نیست . اما در برخی آکسونها پتانسیل عمل می تواند در یک چشم بهم زدن رشته عصبی را با سرعت بالایی طی کند .

چرا که در این آکسونها غلافهای خاصی که رشته هایی با ساختار چربی متشکل از غشاء سلولهای گلیال (glial) درست شده اند بدور رشته های بلند آکسون پیچیده شده اند . به این پوشش ، **غلاف میلین** گفته می شود .

تحقیقات اخیر نشان می دهد که این غلاف میلینی از چه پروتئینهایی تشکیل شده است . این پوشش از نشت کردن جریانهای یونی به محللای اشتباه جلوگیری می کند اگر چه سلولهای گلیال تشکیل دهنده این غلاف دور برخی بخشهای آکسون را خالی می گذارند . این محلها محل تجمع کانالهای سدیمی و پتاسیمی آکسون است و مسئولیت تقویت ، حفظ و تسریع پیام عصبی را بر عهده دارند . در نورونهای میلینه شده (myelinated neurons) پتانسیل عمل می تواند با سرعت ۱۰۰ متر در ثانیه پیش رود . پتانسیل عمل از قانون **همه یا هیچ** تبعیت می کند . در نتیجه شدت پتانسیلهای عمل با هم تفاوتی ندارد تنها فاکتور مهم تعدد دفعات ایجاد پتانسیل عمل است که تنها عامل تأیید کننده میزان قدرت و طول اثر یک محرک می باشد . کارآمدترین آکسونها می توانند در هر ثانیه ، ۱۰۰۰ بار پتانسیل های عمل را منتقل کنند .

زمانی که یک پتانسیل عمل (Action Potential) به جسم سلولی می رسد ، اولین کانالهایی که باز می شوند کانالهای سدیمی اند . موجی از یونهای سدیم به یکباره وارد سلول می شوند و تعادل یونی جدیدی در داخل سلول ایجاد می شود (درکمتر از یک هزارم ثانیه) در یک چشم بهم زدن ولتاژ درون سلول به میزان ۱۰۰ میلی ولت تغییر می کند . یعنی از ولتاژ داخل سلول عصبی که در حال استراحت ۷۰- میلی ولت است در اثر ورود یونهای سدیم با بار مثبت به ولتاژ ۳۰+ میلی ولت تغییر می یابد . این تغییر سبب باز شدن کانالهای پتاسیمی و خروج یونهای پتاسیم از سلول می شود . تقریباً با همان سرعتی که یونهای سدیم وارد سلول شده بودند ، این بار موجی از یونهای پتاسیم از سلول خارج شده و در نتیجه پتانسیل غشاء در داخل سلول مجدداً به همان وضعیت اولیه منفی باز می گردد . زمان وقوع یک پتانسیل عمل با همه بخشهای گفته شده حتی کمتر از زمانی است که یک چراغ را روشن و بلافاصله خاموش می کنید .

Andrew Huxley, Alan Hodgkin

به خاطر کشف مکانیسم انتقال پیامهای عصبی توانستند جایزه نوبل را به خود اختصاص دهند . آنها تحقیقات خود را بر روی آکسونهای بسیار بزرگ ماهی مرکب و درازمیشگانهای تحقیقات زیست شناسی دریایی Plymouth انجام می دادند .

