

فصل ششم

سیستم عصبی (۱)



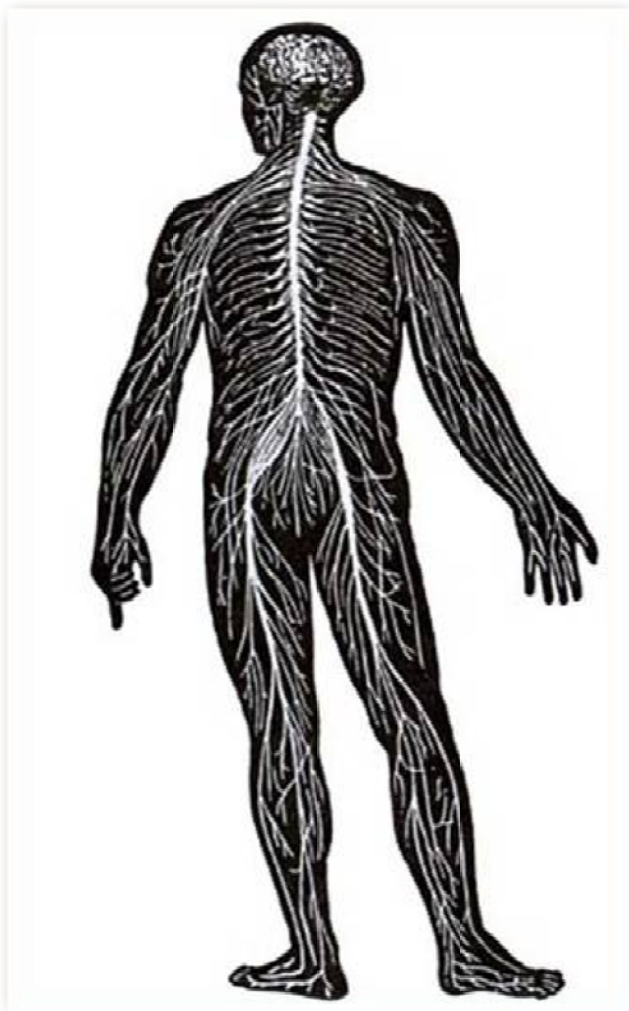
فهرست فصل ششم :

۲۱۲ فصل ششم : سیستم عصبی (۱)
۲۱۳ فهرست فصل ششم :
۲۱۶ نورون ها : واحد های سازنده ی سیستم عصبی
۲۲۰ چگونه پیام ها از یک نورون به نورون دیگر منتقل می شوند ؟
۲۲۸ انتقال سیناپسی :
۲۳۲ انتقال دهنده های عصبی :
۲۴۰ خلاصه ی فصل : سیناپس ها و انتقال دهنده های عصبی
۲۴۱ یادداشت های مترجم :

فرایندهای زیستی، پایه و اساس تمامی افکار، احساسات و کنش‌های ما را تشکیل می‌دهند. هماهنگ سازی و جمع‌بندی رفتار در بدن توسط دو سیستم صورت می‌گیرد: سیستم عصبی و سیستم غدد درون ریز. ابتدا به بررسی سیستم عصبی می‌پردازیم:

سیستم عصبی:

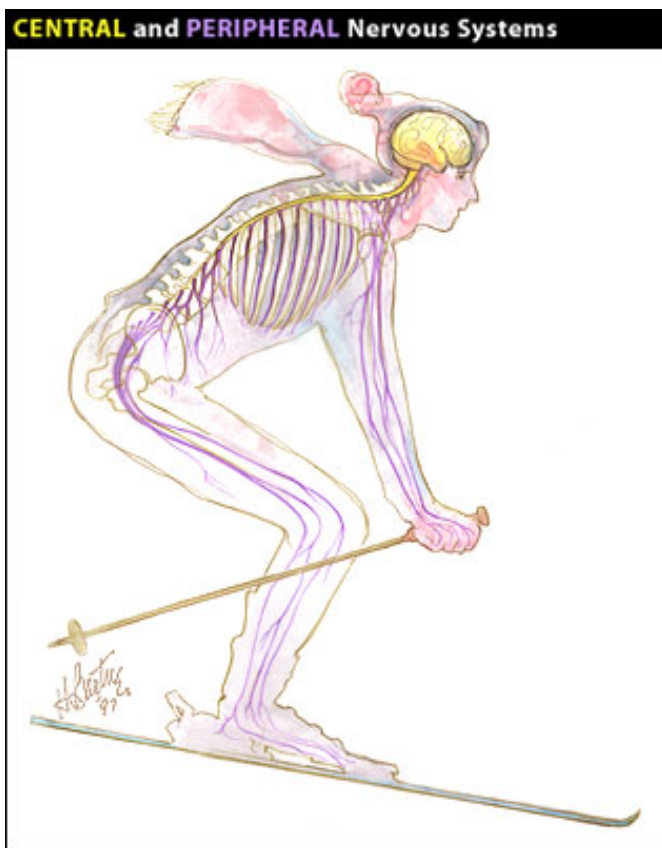
{ شما در جلسه رسمی یک شرکت مشهور نشسته‌اید و رئیس شرکت مشغول صحبت است. با این وجود فکر شما جای دیگریست. شما مشغول فکر کردن به این موضوع هستید که برای تولد دوستان چه



هدیه‌ای بگیرید. همچنین به پولی که بایستی از فلان موسسه‌ی خصوصی پس بگیرید. از طرفی آرزو می‌کنید که نهار امروز را از دست ندهید چرا که سر و صدای شکمتان هر لحظه بیشتر آزاردهنده می‌شود. در همین زمان صدای مبهم رئیس شرکت را می‌شنوید که از شما سوالی می‌پرسد. برای یک لحظه صدای ضربان قلب خود را احساس می‌کنید که به طور غیرعادی می‌تپد. تلاش می‌کنید تا بر موضوع تمرکز کنید و ظرف چند لحظه موفق می‌شوید بر اوضاع مسلط شوید. با اعتماد به نفس به سوال پاسخ می‌دهید و امیدوارید کسی از این حواس پرتی مختصر شما باخبر نشده باشد...

تمامی اعمال بالا توسط سیستم عصبی شما اداره می‌شوند.

پیش از ایوان پاولوف^۱ فیزیولوژیست روس، وظیفه‌ی اصلی سیستم عصبی را بطور کلی ایجاد هماهنگی بین بخش‌های مختلف بدن موجود زنده می‌دانستند. چارلز شرینگتون^۲ این عمل را «عمل وحدت بخشنده‌ی سیستم عصبی مرکزی» می‌نامید. اما پاولوف بر نیاز به بررسی قسمتی دیگری از فیزیولوژی دستگاه عصبی که بسیار با اهمیت بود تاکید می‌کرد. از نظر پاولوف، سیستم عصبی اساساً به ایجاد ارتباط، نه فقط بین قسمت‌های منفرد بدن موجود زنده که تابحال سر و کار ما عمدتاً با آنها بوده، بلکه به ایجاد ارتباط بین موجود زنده و پیرامونش می‌پردازد.



به عبارت دیگر کارکرد اصلی سیستم عصبی مرکزی، تنها تنظیم طرز کار قسمت‌های مختلف بدن موجود زنده در رابطه با یکدیگر نیست، بلکه تنظیم طرز کار موجود زنده به طور کلی در رابطه با محیط نیز بر عهده‌ی این سیستم می‌باشد. موجود زنده در جریان فعالیت خود و از طریق کارکرد سیستم عصبی پیچیده‌اش، پیچیده‌ترین روابط را با محیط خود برقرار می‌کند. از طریق این روابط است که موجود زنده می‌تواند در محیط خود زندگی کند، نیازمندی‌هایش را بدست آورد و

نسبت به شرایط معین به طریقی خاص واکنش نشان دهد.^۳ {

۱ Ivan Pavlov (۱۸۴۹ - ۱۹۳۶)

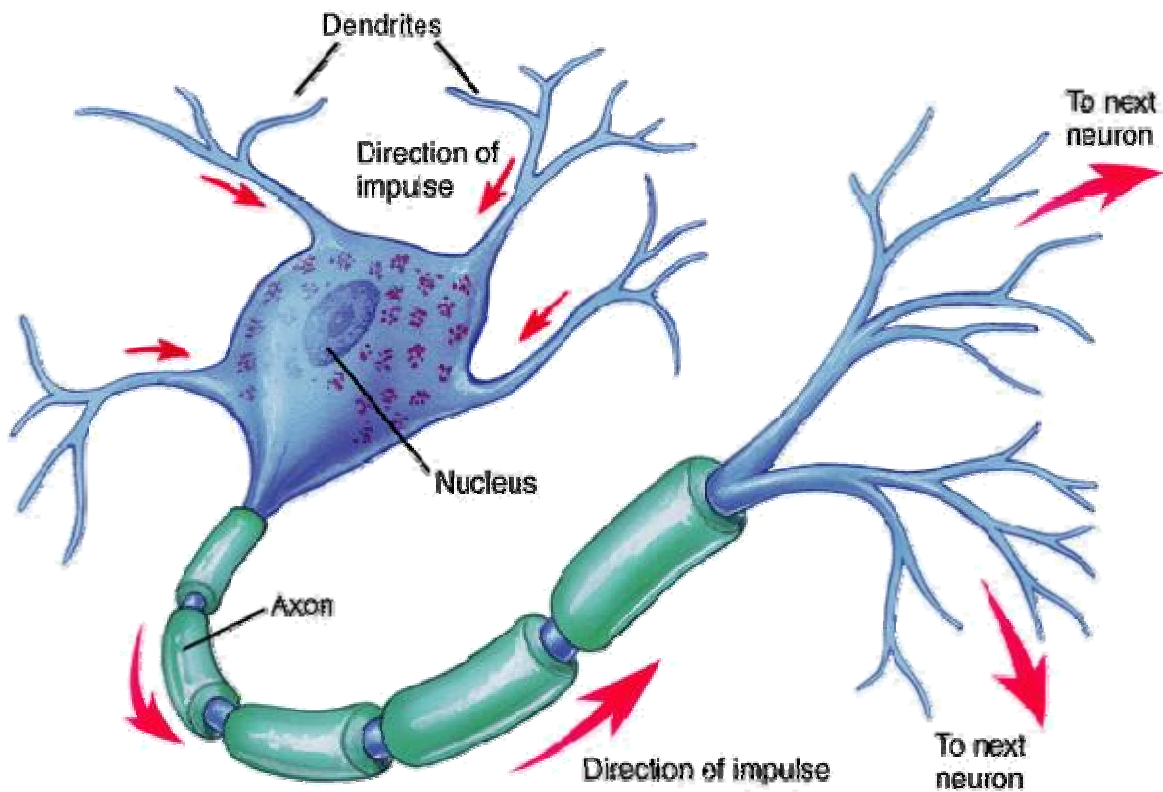
۲ نقل از «نظریه‌ی شناخت» اثر م. ک. فورت (M. K. Forth)، ترجمه‌ی فرهاد نعمانی، منوچهر سناجیان - سهامی کتاب

های جیبی صفحه‌ی ۲۱

۳ Charles Sherrington

نورون ها : واحد های سازنده ی سیستم عصبی

سیستم عصبی شامل تمامی سلول های عصبی ای می شود که در بدن شما وجود دارد. در بدن انسان حدود ۱۵ تا ۲۰ بیلیون سلول عصبی وجود دارد. به سلول های عصبی اصطلاحاً « نورون^۱ » گفته می شود. { این نورون ها هستند که وظیفه ی نقل و انتقال پیام های عصبی را به عهده دارند. } آنها این کار را از طریق هدایت تکانه های الکتریکی^۳ انجام می دهند (شکل زیر).



۱ بیلیون : بیلیون معادل میلیارد است. ← بیلیون = میلیارد = هزار میلیون

۲ neuron : نورون نام دیگر سلول عصبی ست. بهتر دیدیم در متن از واژه ی نورون استفاده کنیم.

۳ electrical impulses : این عبارت را در بخش های بعدی به طور دقیق و مفصل توضیح خواهیم داد. با این حال برای

اینکه از این عبارت یک مفهوم مقدماتی و کلی بدست دهیم می توانیم بگوییم « تکانه ی الکتریکی » یعنی به وجود آمدن یک

تغییر ناگهانی در وضعیت الکتریکی نورون و « هدایت تکانه ی الکتریکی » یعنی جابجا شدن این تغییر در طول نورون.

نورون ها که به عنوان واحد های سازنده ی سیستم عصبی در نظر گرفته می شوند، انواع مختلفی دارند. با این حال تقریباً همه ی آنها در برخی خصوصیات کلیدی با یکدیگر اشتراک دارند. این خصوصیات عبارتند از :

- داشتن یک جسم سلولی^۱ یا تنه ی سلولی^۲ : هسته ی سلول در این قسمت قرار دارد و بیشتر اعمال متابولیکی^۳ سلول نیز در این قسمت صورت می گیرد.
- داشتن دندریت^۴ : دندریت ها پیام های عصبی را از نورون های دیگر دریافت کرده و آنها را به سمت جسم سلولی هدایت می کنند.^۵
- داشتن آکسون^۶ : آکسون ها پیام های عصبی را از جسم سلولی به سمت نورون های دیگر هدایت می کنند.

۱ cell body

۲ soma

۳ metabolic : منظور از اعمال متابولیکی، اعمال مربوط به سوخت و ساز در سلول می باشد. اعمالی نظیر جذب انرژی، دفع مواد زائد و....

۴ dendrite : اصطلاح دندریت ریشه ی یونانی دارد و به معنی درخت است. شکل دندریت نیز مثل درخت است (نقل از روانشناسی فیزیولوژیک کالات - ص ۴۲)

۵ نورون می تواند یک تا هزاران دندریت داشته باشد. دندریت ها سطح پذیرای نورون ها هستند. تمام اطلاعات رسیده از سایر نورون ها، از طریق دندریت ها وارد جسم سلولی می شوند. (نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبله - صفحه ی ۱۱۱)

۶ axon : آکسون لوله ی باریک و بلندی است که پیام های عصبی را از تنه ی سلول به طرف تکمه های پایانی هدایت می کند. نورونی که فاقد آکسون باشد تنها قادر است اطلاعات را به نورون های مجاورش انتقال دهد. (نقل با اندکی تغییر از روانشناسی فیزیولوژیک کارلسون - ترجمه ی دکتر پژهان - نشر غزل - صفحه ی ۲۷)

یک نورون به طور متوسط به هزار نورون دیگر تکانه‌ی عصبی می‌فرستد. همچنین نورونها تا حدی قابلیت‌وجهی در اندازه و عملکردهای اختصاصی با یکدیگر متفاوت اند. مثلاً بعضی نورونهای بزرگ اطلاعات را تا مسافت زیادی منتقل می‌کنند، در حالیکه نورونهای کوچک تر تنها وظیفه‌ی انتقال اطلاعات در مسافت‌های کوتاه را بر عهده دارند.^۱

نورونها را بر مبنای وظایف می‌توان به سه دسته تقسیم کرد :

۱. نورونهای حسی^۲ : نورونهای حسی به محرک‌های معینی که به سیستم‌های حسی^۳ وارد می‌شوند (مثلاً نور، امواج صوتی، لمس یا بعضی مواد شیمیایی) واکنش نشان می‌دهند.

۲. نورونهای حرکتی^۴ : نورونهای حرکتی تکانه‌های الکتریکی را به سمت سلول‌های ماهیچه‌ای و یا غده‌ای هدایت می‌کنند.

۳. نورونهای رابط^۵ : اکثر نورونهای سیستم عصبی انسان از نوع نورون‌های رابط هستند. همانطور که از اسم این نورون‌ها می‌توان حدس زد، وظیفه‌ی نورون‌های رابط این است که پیام‌های ورودی^۶ را از نورونهای حسی یا از نورون‌های رابط دیگر دریافت کرده و در مقابل تکانه‌هایی به نورونهای حرکتی و یا دیگر نورون‌های رابط بفرستند.

در ساده‌ترین مثال فرضی، نورون حسی تکانه‌ها (پیام‌های عصبی) را به نورون رابط می‌فرستد و آن نیز به نوبه‌ی خود تکانه‌ها را به نورون حرکتی منتقل می‌کند.

۱ ◀ : به انتهای فصل رجوع کنید [۱]

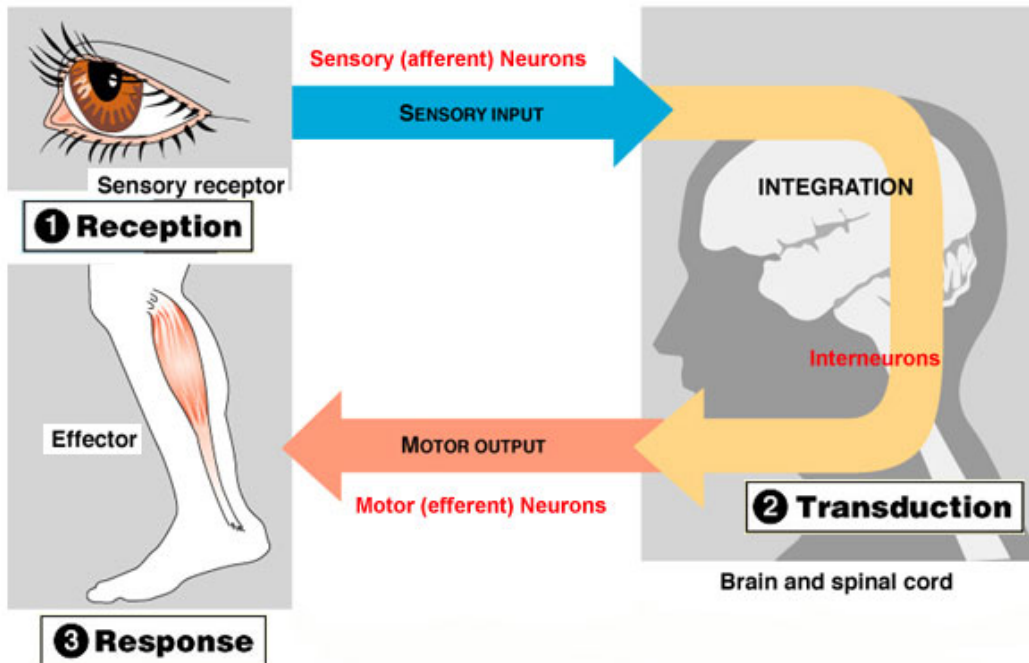
۲ sensory neurons: به آنها، نورون‌های گیرنده نیز گفته می‌شود. ◀ : به انتهای فصل رجوع کنید [۲]

۳ ◀ : به انتهای فصل رجوع کنید [۳]

۴ motor neurons

۵ interneurons neurons

۶ input



1. Sensory receptors --> 2. signal transduction --> 3. Physiological response

از نورون ها که بگذریم، سلول های دیگری نیز در سیستم عصبی وجود دارد که به آنها اصطلاحاً 'گلیا' گفته می شود.

گیاهها نوع دیگری از سلول های سیستم عصبی هستند که از نظر اندازه^۲ حدود ۱/۱۰ نورونها می باشند. به نظر می رسد که گیاهها نقشی در هدایت پیام های عصبی به دیگر سلول ها ندارند. هر چند که اطلاعات ما درباره ی گیاهها در مقایسه با نورونها اندک است اما بررسی ها تا به امروز برخی از وظایف گیاهها را آشکار ساخته است. به عنوان مثال :

۱. برخی گیاهها مواد زائد را به هنگام مرگ نورونها از سلول خارج می کنند.

۲. برخی دیگر از گیاهها مواد شیمیایی که توسط نورونها آزاد می شوند را جذب می کنند.

تا به اینجا، نورون ها و گیاهها را معرفی کردیم. در این قسمت به یک موضوع بسیار با اهمیت خواهیم پرداخت :

۱ Glia

۲ Size

۲ Shors Reeves Tanapat Beylin Gould

۳ Gage Kempermann & Van Praag

چگونه پیام‌ها از یک نورون به نورون دیگر منتقل می‌شوند؟

برای فهم چگونگی عملکرد نورونها ابتدا بایستی با دو مفهوم در رابطه با نورون آشنا شوید :

- یون^۱ ها : هم در داخل و هم در خارج نورون، ذرات بارداری حضور دارند که به آنها یون گفته می‌شود. برخی یون‌ها دارای بار مثبت و برخی دارای بار منفی هستند^۲. مثلاً سدیم (Na) یک یون با بار مثبت و کلر (Cl) یک یون با بار منفی است. در واقع حضور یون هاست که باعث می‌شود یک ناحیه از لحاظ بار الکتریکی در مقایسه با ناحیه ای دیگر منفی تر یا مثبت تر باشد.
- پتانسیل غشاء^۳ : هر نورون با یک غشاء^۴ احاطه شده است. غشاء برای ورود مواد شیمیایی به طور انتخابی عمل می‌کند یعنی به بعضی مولکول‌ها اجازه ی ورود می‌دهد و به بعضی دیگر

اجازه ی ورود نمی‌دهد. از

آنجاییکه یون‌ها در داخل و خارج

سلول به طور نابرابر توزیع شده

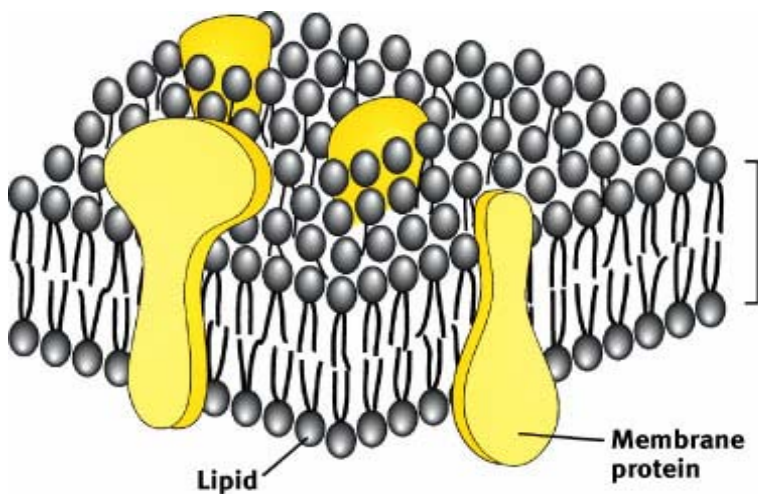
اند، بین داخل و خارج نرون از نظر

بار الکتریکی اختلاف وجود دارد.

به تفاوت بار الکتریکی داخل و

خارج غشاء، پتانسیل غشاء گفته

می‌شود^۱.



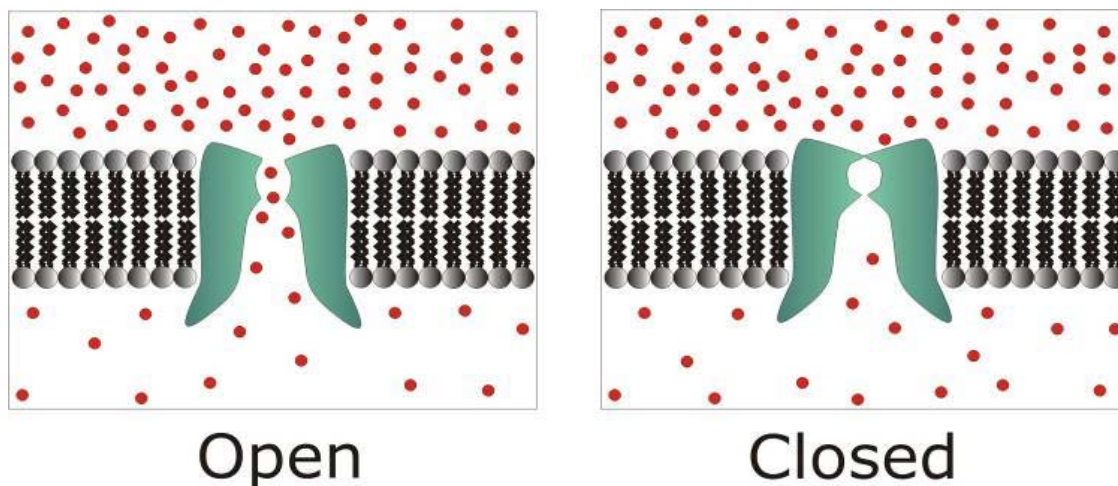
۱ Ions

۲ ◀ : به انتهای فصل رجوع کنید [۴]

۳ membrane potential

۴ membrane

هنگامی که نورون در حالت آرامش قرار دارد^۲ به پتانسیل غشاء « پتانسیل آرامش^۳ » نیز گفته می شود. در این حالت پتانسیل غشاء حدود ۷۰- میلی ولت^۴ است. این به آن معناست که داخل نورون به اندازه ی ۷۰ میلی ولت منفی تر از بیرون نورون است.^۵



◀ غشاء از دو لایه از مولکول های لیپیدی (چربی) تشکیل شده که مولکول های پروتئینی نیز در لابلای این دولایه جاسازی شده اند. یک دسته از مولکول های پروتئینی موجود در غشاء، برای یون ها راهی به وجود می آورند تا آنها بتوانند از جداره ی غشاء عبور کنند. در واقع، این مولکول ها، کانال های یونی را تشکیل می دهند یعنی دریچه هایی که می توانند باز یا بسته شوند. (نقل از روانشناسی فیزیولوژیک کارلسون - ترجمه ی دکتر پژوهان - نشر غزل - صفحه ی ۴۱)

۱ برای اندازه گیری پتانسیل غشاء بایستی یک الکترود در داخل نورون و الکترود دوم را در خارج نورون یعنی در مایع بین سلولی قرار دهیم. تفاوت بار الکتریکی این دو الکترود، اندازه ی پتانسیل غشاء را نشان می دهد.

۲ یعنی هنگامی که نورون در وضعیت تحریک قرار ندارد.

۳ resting potential: پتانسیل آرامش. به آن پتانسیل استراحت نیز گفته می شود. پتانسیل آرامش نورون را می توان به آماده بودن تیر و کمان تشبیه کرد: شخصی که کمان را به حالت کشیده درآورده و آماده است تا بزودی و در فرصت مناسب شلیک کند. فرایند تکامل این استراتژی را برای نورون فراهم کرده است. (کالات، ص ۶۰)

۴ میلی ولت = یک هزارم ولت

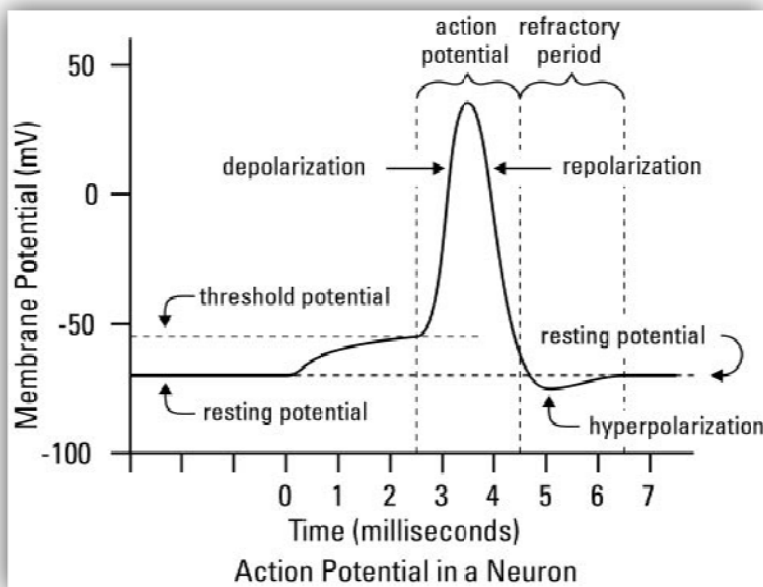
۵ ◀ : به انتهای فصل رجوع کنید [۵]



پس از ذکر این مقدمات، حال بهتر می توان از عملکردِ نورون ها باخبر شد. یک نورون تا زمانی که در وضعیت پتانسیل آرامش قرار دارد هیچ پیامی را منتقل نمی کند (شلیک^۱ نمی کند)، بلکه یک نورون تنها زمانی تصمیم به

انتقال پیام می گیرد که تحریک شده باشد.

چه چیزی باعث تحریک یک نورون می گردد؟



فرض کنید انگشت شما به یک جسم داغ برخورد می کند. در این لحظه نورون حسی که در سطح پوست قرار دارد تحریک می شود. این تحریک برای اینکه بتواند منجر به شلیک نورون شود نباید از حد معینی ضعیف تر باشد. به حداقل سطح ولتاژی که لازم است تا این تحریک، منجر به شلیک نورون گردد

آستانه ی تحریک گفته می شود^۲. ممکن است سوال کنید آستانه ی تحریک نورون چقدر است؟ چنانچه پتانسیل غشاء نورون در نتیجه ی تحریک از ۷۰- میلی ولت به حدود ۶۵- میلی ولت و یا کمتر تغییر کند اصطلاحاً گفته می شود نورون به آستانه ی تحریک رسیده است.

۱ firing : شلیک کردن، تخلیه کردن

۲ آستانه ی تحریک : به حداقل سطح ولتاژی که برای راه اندازی یک پتانسیل عمل لازم است، اصطلاحاً آستانه ی تحریک می

گویند. ◀ : به انتهای فصل رجوع کنید [۶]

هنگامی که نورون به آستانه ی تحریک رسید شلیک می کند. شلیک نورون یعنی رخ دادن یک پتانسیل عمل^۱ در قله ی آکسون^۲. در مرحله ی پتانسیل عمل که حدود ۱ میلی ثانیه طول می کشد، پتانسیل غشاء از -65 mV به حدود $+50 \text{ mV}$ می رسد و دوباره به -70 mV بر می گردد. این پتانسیل عمل گسترش یافته و نواحی مجاور خود را تحت تاثیر قرار می دهد. و این همان پیامی است که از یک انتهای آکسون به انتهای دیگر آن سیر می کند.

حین پتانسیل عمل چه روی می دهد؟

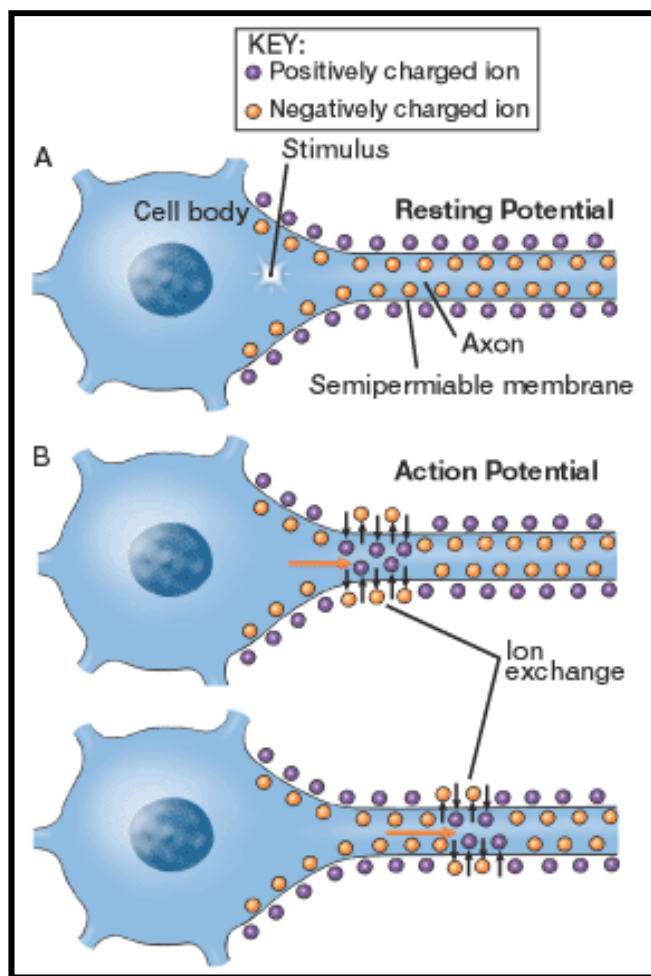
حین پتانسیل عمل، ابتدا کانالهای سدیم و اندکی پس از آن کانال های پتاسیم موجود در غشاء نورون باز می شوند. با باز شدن کانال ها، یون های سدیم وارد نورون می شوند و اندکی بعد یون های پتاسیم از نورون خارج می شوند. از این رو پتانسیل غشاء از -65 mV به حدود $+50 \text{ mV}$ تغییر می کند. پس از حدود یک میلی ثانیه، وضعیت به شکل عادی برمی گردد. به این صورت که کانال های سدیم بسته شده و به دنبال آن کانال های پتاسیم نیز بسته می شود. با بسته شدن این کانال ها، پتانسیل غشاء از $+50$ میلی ولت مجدداً به حدود -70 بر می گردد و وضعیت پتانسیل عمل به پایان می رسد. سپس این موج در طول آکسون جابجا می شود.

۱ action potential : به زبان ساده، به پتانسیل غشاء در برهه ای از زمان که نورون در حال عمل شلیک است پتانسیل عمل گفته می شود. به پتانسیل عمل، پتانسیل فعالیت نیز گفته می شود. هدایت پتانسیل عمل در طول آکسون در واقع همان تکانه ی عصبی است. (نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبله - صفحه ی ۱۵۲)

۲ axon hillock : قله ی آکسون، تکمه ی آکسون : به نقطه ای گفته می شود که آکسون به جسم سلولی متصل می شود. (نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبله - صفحه ی ۱۱۱)

تا اینجا با چگونگی ایجاد پتانسیل عمل در یک قسمت از نورون آشنا شدیم. حال وقت آن است که ببینیم این پتانسیل عمل چگونه در طول آکسون انتشار می یابد.

اصولاً انتشار پتانسیل عمل نمی تواند در طول آکسون به طور الکتریکی - یعنی به طریقی که الکتریسیته در سیم جریان می یابد - جریان یابد، زیرا آکسون رسانای ضعیفی است. انتقال پتانسیل عمل به شکل دیگری صورت می گیرد. به این منظور هر نقطه از غشا، مجدداً پتانسیل عملی مشابه همان پتانسیل که ابتدا ایجاد شده، تولید می کند.^۱ به عبارت دقیق تر، هنگامی که در قله ی آکسون کانال های یونی



گشوده می شوند، عبور یون ها از غشاء، جریانی الکتریکی به وجود می آورد که این جریان، پتانسیل غشای نواحی مجاور را نیز به هم زده، در نتیجه کانال های یونی غشای مجاور نیز گشوده شده و تبادل یونی صورت می گیرد^۲ (شکل مقابل) ؛ بدین ترتیب، پتانسیل عمل مثل یک موج در طول آکسون حرکت می کند. به این فرایند، فرایند « انتشار پتانسیل عمل » می گویند. با این روش، پتانسیل عمل می تواند در انتهای آکسون همان قدر نیرومند باشد که در آغاز بوده است.^۳

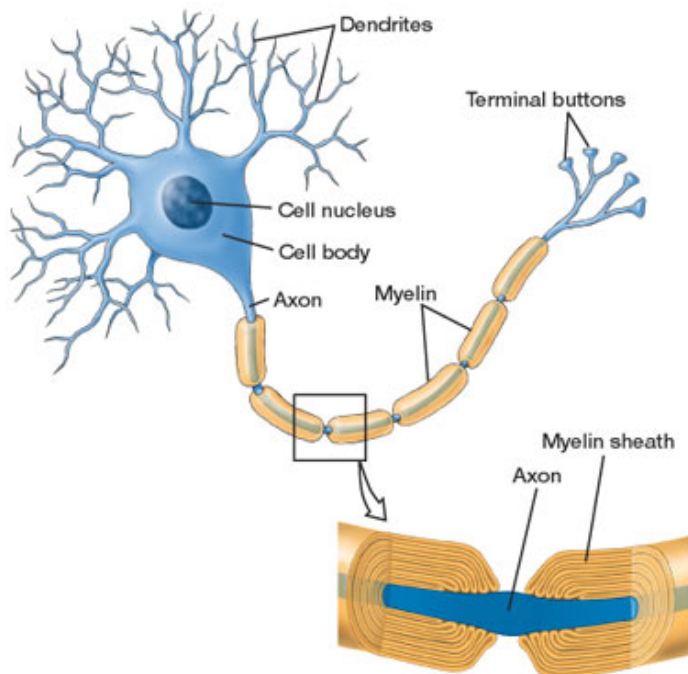
۱ نقل از روانشناسی فیزیولوژیک کالات - ص ۶۷ و ۶۹

۲ نقل از روانشناسی فیزیولوژیک - کارلسون ص ۴۲

۳ این فرایند شبیه حالتی است که فتیله ی ماده ی منفجره از جایی که کبریت آن را مشتعل می سازد تا انتهای آن شعله ور می شود. (نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر

دوره ی بی پاسخی مطلق :

یک نورون نمی تواند در یک زمان معین به تعداد نامحدود شلیک کند. در واقع بایستی دوره ی بسیار کوتاهی از شروع پتانسیل عمل بگذرد تا نورون بتواند مجدداً تحریک شده و شلیک کند. در این دوره نورون در برابر تحریک مجدد مقاوم است. به این دوره ی زمانی کوتاه اصطلاحاً « دوره ی بی پاسخی مطلق » می گویند. { می توانیم این فرایند را به عمل فوت کردن تشبیه کنیم. به این شکل که برای هر بار فوت کردن بایستی نفس را به داخل بکشیم و دوباره فوت کنیم. در واقع بین هر دو فوت یک وقفه ی تنفسی لازم است و ما نمی توانیم پیوسته فوت کنیم. }



جالب است بدانید که انتقال پتانسیل عمل بسیار آهسته تر از انتقال الکتریکی است زیرا در چنین انتقالی باید یون های سدیم در نقاط پی در پی در امتداد اکسون، منتشر شوند. برای رفع این کاستی (سرعت پایین)، آکسون های بسیاری از نورونهای سیستم عصبی توسط پوششی (غلافی) از جنس یک چربی به نام میلین پوشانده شده اند. آکسون های برخی دیگر از نورونها این چنین

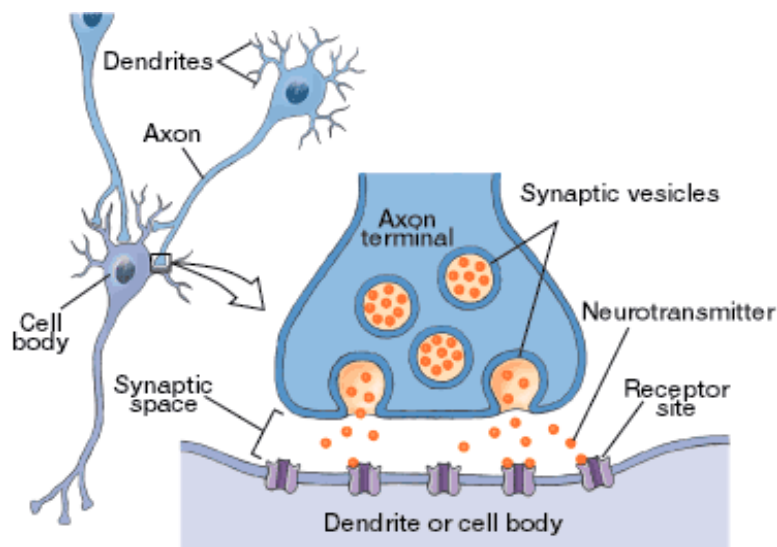
پوششی ندارند. آکسون های میلین دار در غلاف میلین خود دارای شکاف هایی هستند که گره ی رانویه^۱ نام دارد. این گره ها به پتانسیل عمل امکان می دهند تا در طول آکسون از یک گره به گره ی دیگر جهش کند. از این رو حرکت پتانسیل عمل در طول آکسون های میلین دار بسیار سریع تر از آکسون های بدون میلین است. این رقم برای آکسون های میلین دار برابر با ۸۰ تا ۱۰۰ متر در ثانیه و برای آکسون های بدون میلین تنها ۲ تا ۳ متر در ثانیه است.

تا اینجا نشان دادیم که چگونه یک پتانسیل عمل ایجاد می شود و در طول آکسون حرکت می کند. حال باید دید وقتی پتانسیل عمل به انتهای آکسون می رسد چه اتفاقی می افتد؟

در انتهای آکسون برجستگی های کوچکی وجود دارد که به آنها اصطلاحاً تکمه های پایانی^۱ گفته می شود. (به شکل صفحه ی قبل نگاه کنید) هنگامی که پیام عصبی (پتانسیل عمل) به تکمه های پایانی می رسد، باعث می شوند تا تکمه های پایانی از خود مواد شیمیایی به نام انتقال دهنده های عصبی^۲ آزاد کنند. این مواد در فضایی معروف به فضای سیناپسی آزاد می شوند.

منظور از فضای سیناپسی چیست؟

نورون ها کاملاً به یکدیگر متصل نیستند، بلکه بین یک نورون و نورون مجاورش فضای بسیار کوچکی وجود دارد که به آن فضای سیناپسی یا سیناپس^۳ گفته می شود. (شکل مقابل)



۱ terminal buttons

۲ neurotransmitter: انتقال دهنده ی عصبی. سلول های عصبی به وسیله ی مواد شیمیایی با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند. به این مواد شیمیایی اصطلاحاً انتقال دهنده ی عصبی گفته می شود. این اصطلاح را عصب-رسانه نیز ترجمه کرده اند.

م

۳ synaps: پیوندگاه بین یک نورون با نورون مجاور (نقل از روانشناسی فیزیولوژیک کالات ص ۴۳)

هنگامی که انتقال دهنده های عصبی در فضای سیناپسی آزاد شدند بر گیرنده های نورون مجاور تاثیر می گذارند و به این شکل پیام از یک نورون به نورون دیگر منتقل می شود.

از آنجا که یک پیام فقط در یک جهت انتقال می یابد، به نورونی که انتقال دهنده های عصبی را در سیناپس آزاد می کند نورون پیش سیناپسی^۱ و به نورون گیرنده، نورون پس سیناپسی^۲ گفته می شود. به این عمل نیز اصطلاحاً انتقال سیناپسی می گویند.



۱ pre synaptic neuron

۲ post synaptic neuron

انتقال سیناپسی :

پيامی که از طريق سيناپس انتقال می يابد، به دو شکل می تواند نوروں مجاور را تحريك کند :

۱. می تواند موجب برانگيختگی (فعال سازی) نوروں مجاور شود.

۲. می تواند موجب بازداري (مهار) نوروں مجاور شود.

اينکه يك نوروں، موجب برانگيختگی نوروں مجاورش شود و يا بازداري آن، از طريق نوع و تعداد انتقال دهنده های عصبی آزاد شده در فضای سيناپسی مشخص می شود. ممکن است سوال کنید، انتقال دهنده های عصبی چگونه قادرند نوروں مجاور را برانگيخته و يا بازداري کنند؟ در پاسخ بايد گفت که انتقال دهنده های عصبی اين کار را از طريق افزايش يا کاهش پتانسیل غشایی سلول های مجاور انجام می دهند. به عبارت ديگر:

- اگر انتقال دهنده های عصبی پتانسیل غشاء را کاهش دهند (يعنی اختلاف پتانسیل درون و بیرون نوروں بیشتر شود) ، احتمال شلیک نوروں مجاور (نوروں پس سنایسی) افزايش می يابد. در اين حالت اصطلاحاً گفته می شود که نوروں مجاور برانگيخته شده است.
- چنانچه انتقال دهنده های عصبی پتانسیل غشاء را افزايش دهند (يعنی اختلاف پتانسیل درون و بیرون نوروں کمتر شود) ، احتمال شلیک نوروں مجاور کاهش می يابد. در اين حالت اصطلاحاً گفته می شود که نوروں مجاور بازداري (مهار) شده است^۱. (بازدارنده)

۱ نقل از روانشناسی فیزیولوژیک کارلسون - ترجمه ی دکتر پژهان - نشر غزل - صفحه ی ۳۲-۲۵-۲۶-۴۴

بنابراین میزان انتقال یک پیام، بستگی به برآیند پیام های برانگیزاننده و بازدارنده ای دارد که نوروں از طریق تکمه های پایانی دریافت می کند. به عبارت دیگر، اگر برآیند تمامی این پیام ها، باعث شود که نوروں به آستانه ی تحریک برسد، طبیعتاً نوروں شلیک می کند، در غیر این صورت شلیکی صورت نمی گیرد.^۱

همچنین لازم است بدانید که انتقال سیناپسی، تنها در یک جهت امکان پذیر است. به عبارت دیگر، تکمه ی پایانی اطلاعات خود را به سلول گیرنده ارسال داشته، اما متقابلاً پیامی دریافت نمی کند. تا اینجا طوری صحبت کرده ایم که گویی در اطراف هر گیرنده ی نوروں تنها یک سیناپس وجود دارد اما در واقع باید بدانید که در منطقه ی گیرنده های هر نوروں، به طور معمول هزاران سیناپس وجود دارد. این سیناپس ها، اکثراً سیناپس های مستقیم هستند. یعنی محل آزاد شدن انتقال دهنده های عصبی یک نوروں بسیار نزدیک به محل گیرنده های نوروں دیگر است.

نکته ی دیگری که بد نیست به آن اشاره شود، این است که نباید تصور کنید هر نوروں تنها یک نوع انتقال دهنده ی عصبی آزاد می کند. در واقع، بسیاری از نوروںها دو یا چند انتقال دهنده ی عصبی آزاد می کنند.

همانطور که گفتیم انتقال دهنده های عصبی از نوروں پیش سیناپسی به درون فضای سیناپسی آزاد می شوند. سپس این مواد با اتصال به گیرنده های نوروں پس سیناپسی منجر به شروع واکنش می شوند.^۲

۱ به پیام های برانگیزاننده اصطلاحاً (Excitatory post synaptic potential = Epsp) و به پیام های بازدارنده (Ipsp =

Inhibitory post synaptic potential) گفته می شود. ◀ : به انتهای فصل رجوع کنید [۷]

۲ هدایت تکانه های عصبی در طول نوروں اساساً الکتریکی است، در حالی که هدایت تکانه های عصبی در میان سیناپس اساساً شیمیایی است. (نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی

اکثر انتقال دهنده های عصبی، توانایی اتصال به انواع مختلفی از گیرنده ها را دارند. (مثلاً دوپامین دست کم ۵ نوع و سروتونین حداقل ۱۰ نوع گیرنده دارد). نحوه ی واکنش گیرنده ها نیز از نوعی به

نوع دیگر متفاوت است. برای درک بهتر موضوع می

توانیم انتقال دهنده های عصبی را به کلید و گیرنده ها را

به قفل تشبیه کنیم. همانطور که یک کلید برای اینکه

بتواند داخل یک قفل شود بایستی متناسب با قفل باشد،

در اینجا نیز بایستی تناسبی بین انتقال دهنده ی عصبی و

گیرنده وجود داشته باشد. به طور کلی می توان گیرنده

ها را به دو دسته ی کلی تقسیم نمود :

۱. گیرنده های متصل به کانال یونی^۱ (تصویر مقابل

) : این گیرنده ها مستقیماً به وسیله ی انتقال

دهنده های عصبی فعال می شوند.

۲. گیرنده های متصل به پروتئین های G : این

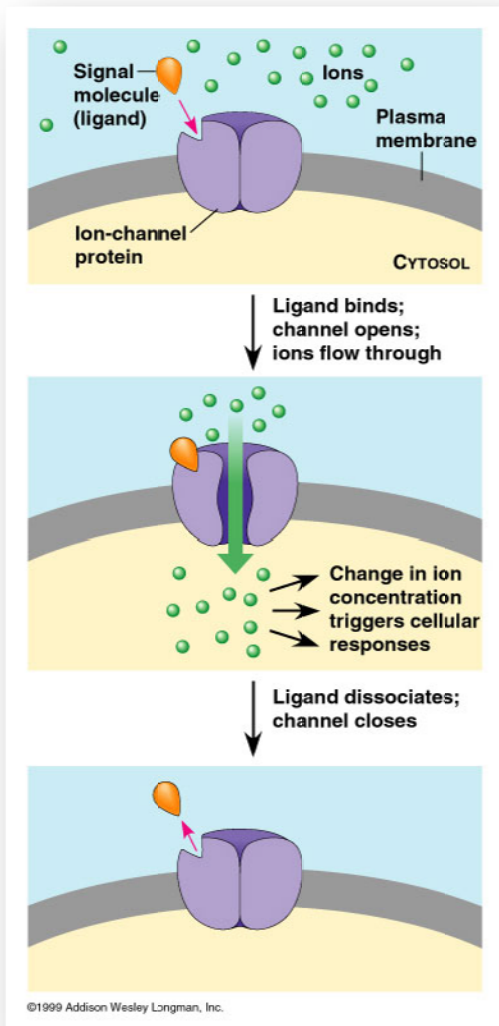
گیرنده ها به طور غیر مستقیم و از راه نسبتاً

پیچیده ای فعال می شوند.

تاثیر انتقال دهنده های عصبی بر گیرنده های نوع دوم

در مقایسه با تاثیرشان بر گیرنده های نوع اول اندکی متفاوت است. از خصوصیات گیرنده های نوع

دوم، انتشار گسترده تر اما با سرعتی آهسته تر، ماندگاری بیشتر و گوناگونی بیشتر است. (پینل ۱۹۹۷)



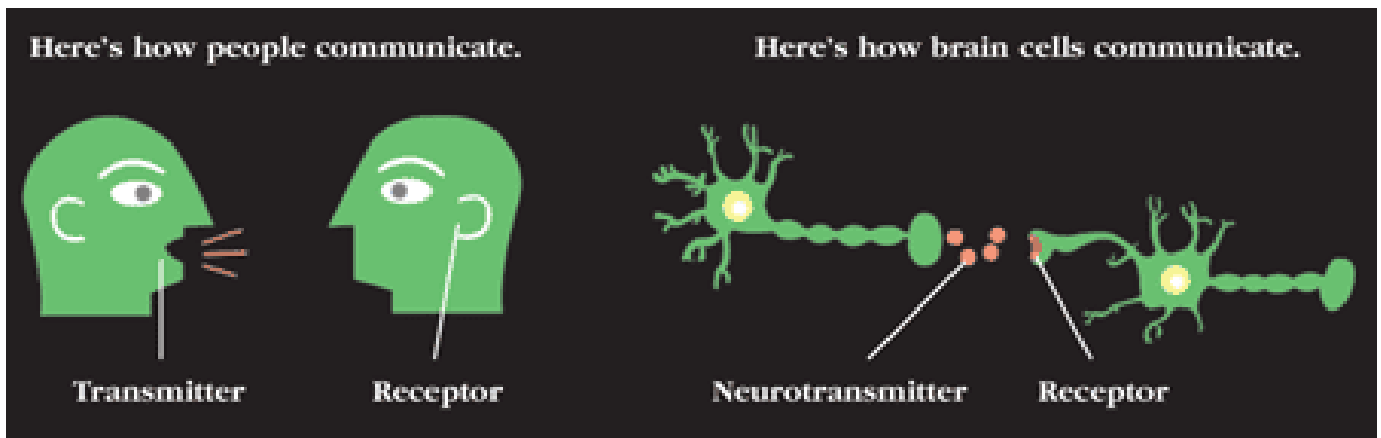
۱ Ion –channel linked receptors

۲ G – protein linked receptors

ممکن است برسید چه چیزی آزاد شدن انتقال دهنده های عصبی در فضای سیناپسی را متوقف می کند؟ به عبارت دیگر، آزاد شدن انتقال دهنده های عصبی تا چه مدت ادامه دارد؟ دو مکانیسم مختلف از تاثیر طولانی مدت انتقال دهنده های عصبی بر نورونهای پس سیناپسی جلوگیری می کند:

۱. جمع آوری مجدد^۱: در این عمل انتقال دهنده های عصبی از فضای سیناپسی جمع آوری شده و به داخل نورون پیش سیناپسی برگردانده می شوند.

۲. تجزیه ی آنزیمی^۲: از طریق این مکانیسم، انتقال دهنده های عصبی موجود در فضای سیناپسی توسط عمل آنزیم ها تکه تکه شده و تجزیه می گردند.



۱ re-uptake : باز جذب

۲ آنزیم ها، مولکول های پروتئینی هستند که به عنوان کاتالیزور عمل می کنند، یعنی بی آنکه جزئی از محصول نهایی شوند، انجام واکنش های شیمیایی را تسهیل می کنند. علاوه بر این آنزیم هایی نیز وجود دارند که به همان ترتیب که مولکول ها را به هم می چسبانند، آنها را شکسته و از هم جدا می سازند. (تجزیه می کنند) (نقل از روانشناسی فیزیولوژیک کارلسون - ترجمه ی دکتر پژهان - نشر غزل - صفحه ی ۲۵-۲۶)

انتقال دهنده های عصبی^۱ :

انتقال دهنده های عصبی را می توان به ۶ دسته تقسیم کرد :

۱. نوروپپتید ها^۲ : این انتقال دهنده ها مولکول های بزرگی هستند که خود به دو دسته تقسیم می

شوند:

▪ تنظیم کننده های عصبی^۳ : این مولکول ها بر میزان حساسیت نورونها بر روی پیام ها^۴ اثر می گذارند. اما خود این مولکول ها هیچ گونه پیامی به نورونهای دیگر نمی فرستند.

▪ اندورفین ها^۵ : یکی از مهمترین نوروپپتید ها هستند. این مولکول ها نقش اساسی در فعالیت سیستم های دخیل در لذت و سرکوب درد ایفا می کنند. موادی نظیر هروئین، مورفین و تریاک بر گیرنده هایی نظیر اندورفین تاثیر می گذارند.

۲. اسید آمینه ها : رایج ترین اسید آمینه ها در سیستم عصبی مرکزی پستانداران عبارتند از :

▪ گابا (GABA^۶) : از بین انتقال دهنده های عصبی، GABA اصلی ترین بازدارنده^۷ در CNS محسوب می شود.

▪ گلو تامات^۸ : گلو تامات اصلی ترین برانگیزاننده محسوب می شود.

^۱ neurotransmitters

^۲ neuropeptides

^۳ neuromodulators

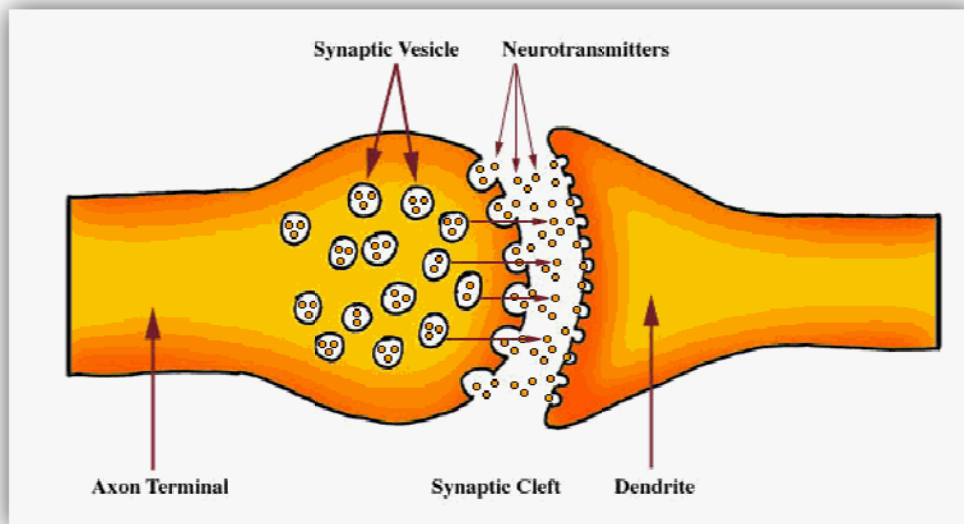
^۴ signals

^۵ endorphins

^۶ gamma – aminobutyric acid

^۷ inhibitor : مهار کننده، بازدارنده

^۸ glutamate



۳. مونو آمین ها : مونو آمین های معروف عبارتند از :

- دوپامین^۱ : این ماده به عنوان یک انتقال دهنده ی عصبی اصولاً در مغز میانی عمل می کند. زوال نورونهای آزادکننده ی دوپامین در جسم سیاه^۲ در ابتلا به بیماری پارکینسون نقش دارد. در این بیماری کنترل ماهیچه ای بسیار ضعیف می گردد.
- آدرنالین و نورآدرنالین^۳ : به عنوان دو انتقال دهنده ی عصبی اساساً در سیستم عصبی پیرامونی عمل می کنند. این دو ماده همچنین در استرس و عواطف و هیجانات و کارکرد سیستم غدد درون ریز نقش مهمی دارند. (فصل ۵)
- سروتونین^۴ : سروتونین در تنظیم برانگیختگی، خواب و خلق و خو^۵ تاثیر دارد. همچنین گفته می شود دوپامین و سروتونین هر دو در بیماری اسکیزوفرنی نقش دارند.

۱ dopamine

۲ substantia nigra

۳ به این دو ماده، اپی نفرین و نوراپی نفرین نیز گفته می شود.

۴ serotonin

۵ mood : خلق، خلق و خو، وضع روانی : حالت عاطفی یا هیجانی دائم یا موقت که مایه ای از شادی یا غم دارد- (نقل از

فرهنگ علوم رفتاری دکتر شعاری نژاد - م)

۴. استیل کولین^۱ : این ماده در سیناپس های بسیاری از نورون های سیستم عصبی وجود دارد.
از جمله :

▪ در سیستم عصبی مرکزی : استیل کولین در سیستم عصبی مرکزی وظیفه ی تهییج ماهیچه های اسکلتی و مهار ماهیچه های قلبی را بر عهده دارد. علاوه بر این استیل کولین در یادگیری و حافظه نیز نقش دارد.

▪ در بخش خودکار سیستم عصبی پیرامونی : استیل کولین مهمترین پیام رسان شیمیایی نورونهای حرکتی بخش خودکار سیستم عصبی پیرامونی است.

۵. پورین ها^۲ : دو تا از مهمترین پورین ها عبارتند از :

▪ آدنوزین^۳ : فعالیت آدنوزین در جهت جلوگیری از آزاد شدن چندین انتقال دهنده ی عصبی از جمله استیل کولین و سروتونین است.

▪ آدنوزین تری فسفات^۴ (ATP) : نوعی انتقال دهنده ی عصبی است که وظیفه ی رساندن انرژی به بخش های گوناگون بدن را دارد.

۶. گازهای محلول^۵ : این دسته از انتقال دهنده های عصبی از همه دیرتر کشف شده اند. از بین آنها می توان به مونوکسید کربن و اکسید نیتریک اشاره کرد. این گازها مدت بسیار کمی باقی می مانند، چرا که به سرعت تجزیه شده و تبدیل به مواد شیمیایی دیگر و یا پیام رسان های ثانویه می شوند.

۱ acetylcholine

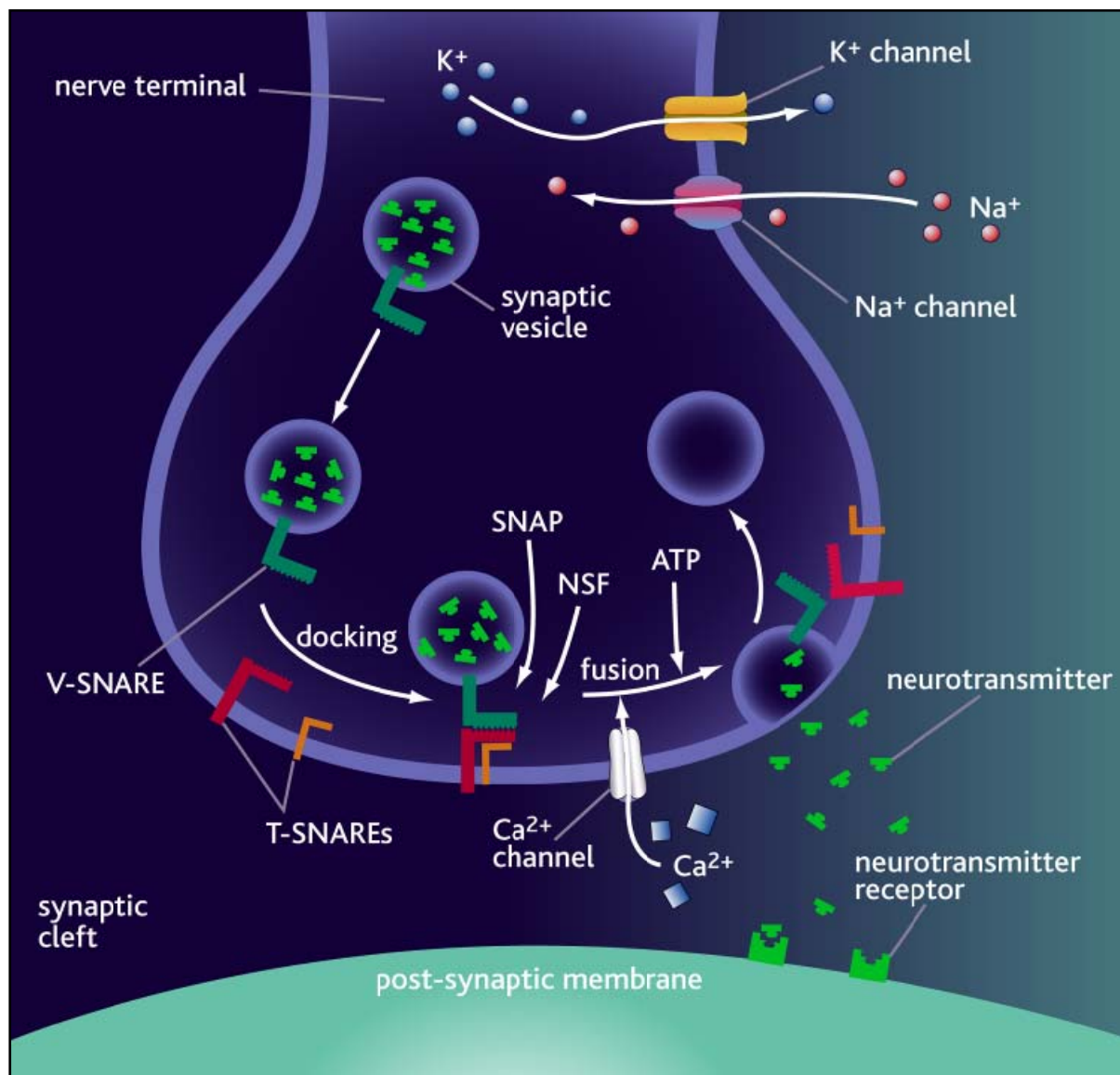
۲ purines

۳ adenosine

۴ adenosine triphosphate

۵ soluble gases

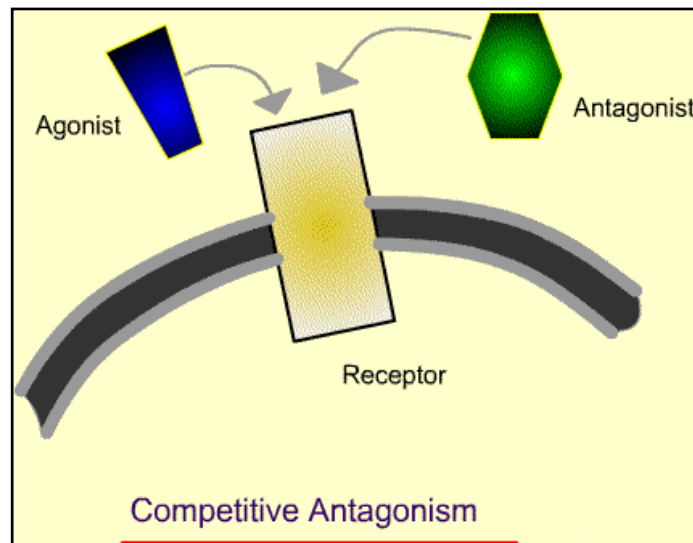
همانطور که دیدید تعداد انتقال دهنده های عصبی و تنوع آنها بسیار زیاد است. علاوه بر این اکثر این انتقال دهنده ها چندین نوع گیرنده ی اختصاصی نیز دارند. شاید پرسید که دلیل این همه پیچیدگی و گوناگونی مواد چیست؟ این همه پیچیدگی به دلیل پیچیدگی بیش از حد اندیشه و رفتار آدمی است. در واقع این گوناگونی و تنوع مواد باید وجود داشته باشد تا به موجودی به نام انسان با این پیچیدگی منحصر به فرد در ذهن و رفتار امکان بقاء دهد.



یافته های مربوط به انتقال دهنده های عصبی چه کاربردی دارد ؟

شاید مهمترین فایده ی این یافته ها رشد و توسعه ی علم داروسازی و ساخته شدن داروهایی^۱ با تاثیرات دقیق تر و مشخص تر بر انتقال سیناپسی باشد. داروها به شکل های مختلفی، بر انتقال سیناپسی تاثیر می گذارند. داروها این کار را با ایجاد تغییر در اثرات انتقال دهنده های عصبی انجام می دهند. به عبارت دقیق تر :

- برخی داروها اثرات یک انتقال دهنده ی عصبی دلخواه را افزایش می دهند. به این داروها، آگونیست^۲ گفته می شود.
- برخی داروها اثرات یک انتقال دهنده ی عصبی را کاهش می دهند. به این داروها، آنتاگونیست^۳ گفته می شود.



۱ drugs : در فرهنگ ما به برخی از داروها که اکثراً غیرقانونی نیز می باشند، مواد گفته می شود. با این وجود هم واژه ی « مواد » و هم واژه ی « دارو » معادلی برای واژه ی « drug » است. بهتر دیدیم از هر دو معادل در بخش های مختلف متن بهره بگیریم.

۲ agonists

۳ antagonists : به آنها مسدود کننده نیز گفته می شود. - م

در یک تقسیم بندی دیگر خودِ داروهای آگونیست و آنتاگونیست را می توان به دو دسته تقسیم نمود :

۱. داروهای آگونیست و آنتاگونیستی که به طور مستقیم عمل می کنند : این داروها عموماً از نظر ساختار شیمیایی بسیار شبیه انتقال دهنده ی عصبی بوده و همانند انتقال دهنده ی عصبی بر گیرنده های سیناپسی اثر می گذارند. آگونیست هایی که به این شکل عمل می کنند گیرنده های سیناپسی را تحریک می کنند. (مثلاً هروئین این گونه عمل می کند.) در حالی که داروهای آنتاگونیستی که به این شکل عمل می کنند از تحریک گیرنده های سیناپسی توسط انتقال دهنده های عصبی جلوگیری می کنند. (مثلاً داروی کندسازِ کلروپرومازین)

۲. داروهای آگونیست و آنتاگونیستی که به طور غیر مستقیم عمل می کنند : این داروها نیز به مانند دسته ی دیگر، اثرات انتقال دهنده های عصبی را تغییر می دهند. اما آنها این کار را به روشی غیر از تاثیر بر گیرنده های سیناپسی انجام می دهند. داروی محرکِ آمفتامین یک نمونه از داروهای آگونیست با تاثیر غیر مستقیم است که باعث افزایش آزاد شدنِ ماده ی انتقال دهنده ی عصبی از پایانه های پیش سیناپسی می شود. PCPA^۱ نیز یک نمونه از داروهای آنتاگونیست با تاثیر غیر مستقیم است. این ماده تولید انتقال دهنده ی عصبی سروتونین را شدیداً کاهش می دهد. PCPA این کار را از طریق بازداري یکی از آنزیم هایی که برای ساخت^۲ سروتونین لازم است انجام می دهد.

از همه ی اینها که بگذریم، باید بدانید که تاثیرات انتقال دهنده های عصبی و داروها بر فرایند انتقال سیناپسی بسیار پیچیده تر از آنست که تا اینجا به آن اشاره شد.

۱ Para-Chlorophenylalanine

۲ synthesis : سنتز

طبق گفته ی پینل (۱۹۹۷) فعالیت انتقال دهنده های عصبی غالباً شامل ۷ مرحله یا فرایند متمایز است. (برخی از این مراحل پیش تر توضیح داده شده است.) :

۱. مولکول های انتقال دهنده ی عصبی تحت کنترل آنزیمی ساخته می شوند.
۲. مولکول های انتقال دهنده ی عصبی در وزیکول^۱ ها (حفره ها) ذخیره می شوند.
۳. مولکول هایی که از وزیکول ها ترشح می شوند، توسط آنزیم^۲ ها
۴. پتانسیل عمل موجب می شود تا وزیکول ها مولکول های انتقال دهنده ی عصبی را در فضای سیناپسی آزاد کنند.
۵. مولکول های انتقال دهنده های عصبی با گیرنده های پیش سیناپسی جفت شده و با این کار آزادسازی انتقال دهنده های عصبی اضافی را بازداری می کنند.
۶. مولکول های انتقال دهنده ی عصبی به گیرنده های پس سیناپسی متصل می شوند.
۷. اثر مولکول های انتقال دهنده ی عصبی بر گیرنده های پس سیناپسی از طریق جمع آوری مجدد و یا تخریب آنزیمی به پایان می رسد.

همانطور که ممکن است حدس زده باشید، این واقعیت که فعالیت انتقال دهنده ی عصبی طی مراحل مختلفی صورت می گیرد به این معنی است که داروها و مواد می توانند از راه های مختلفی فعالیت انتقال دهنده ی عصبی را تحت تاثیر قرار دهند. در این راستا، پینل (۱۹۹۷)، ۶ مکانیسم عمل برای مواد و داروهای آگونیست و ۵ مکانیسم عمل مواد و داروهای آنتاگونیست را شناسایی کرد. برخی از آنها در جدول زیر آمده است :

۱ Vesicles

۲ آنزیم ها : پروتئین هایی که میزان فعل و انفعالات شیمیایی را کنترل می کنند.

« چند مکانیسم عمل داروها و مواد آنتاگونیست »

« چند مکانیسم عمل داروها و مواد آگونیست »

۱- برخی آنتاگونیست ها ساخته شدن آنزیم

ها را مانع می شوند. (مرحله ی ۱)

۲- برخی آنتاگونیست ها ترشح مولکول های

انتقال دهنده ی عصبی را از وزیکول ها (

حفره ها) افزایش می دهند. (مرحله ۳)

۳- برخی آنتاگونیست ها فرایندهایی را که

آزاد شدن انتقال دهنده ی عصبی را

بازداری می کند افزایش می دهند.

(مرحله ۵)

۴- برخی آنتاگونیست ها متصل شدن مولکول

های انتقال دهنده های عصبی به گیرنده

های پس سیناپسی را مانع می شوند.

(مرحله ی ۶)

۱. برخی آگونیست ها ساخت مولکول های

انتقال دهنده ی عصبی را افزایش می

دهند. (شماره ی ۱ از مراحل هفتگانه ی

بالا)

۲. برخی آگونیست ها آنزیم های تجزیه

کننده را نابود می کنند. (مرحله ۳)

۳. برخی آگونیست ها باعث مسدود شدن

مکانیسمی می شوند که خود از آزاد شدن

انتقال دهنده ی عصبی، جلوگیری می

کند. (مرحله ی ۵)

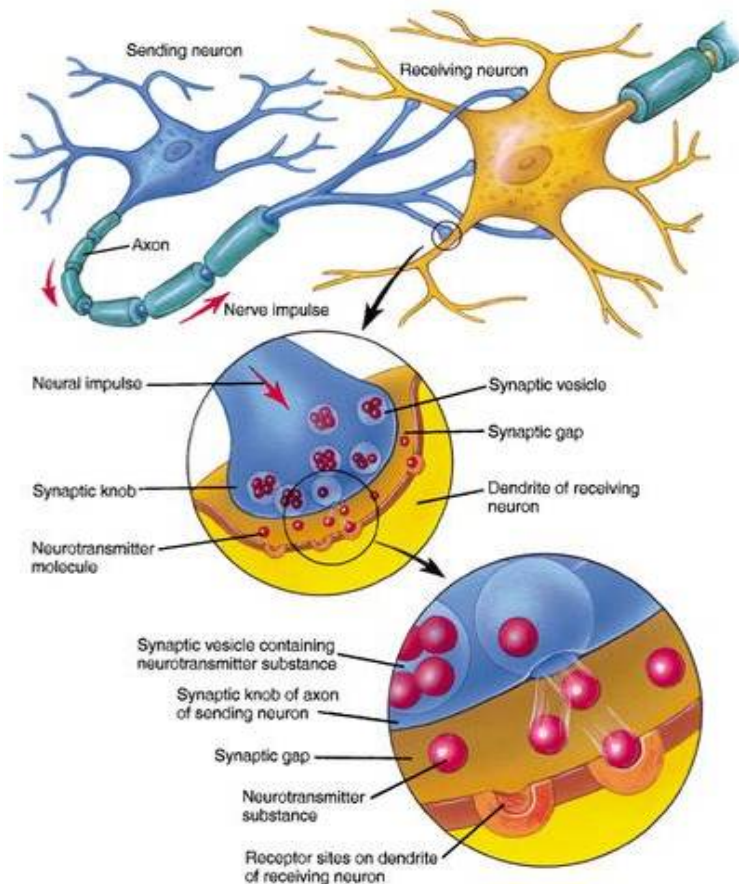
۴. برخی آگونیست ها فرایند های جمع

آوری مجدد و یا تجزیه ی آنزیمی را

مسدود می کنند. (مرحله ی ۷)

خلاصه ی فصل : سیناپس ها و انتقال دهنده های عصبی

- وقتی نورونها شلیک می کنند، از خود مواد شیمیایی به نام انتقال دهنده های عصبی آزاد می کنند. این مواد از فضای سیناپسی عبور کرده و گیرنده های نورونهای مجاور را تحت تاثیر قرار می دهند.
- انتقال دهنده های عصبی پتانسیل غشای نورون های مجاور را تغییر داده و احتمال (و تعداد) شلیک و تولید پتانسیل عمل را توسط نورون های گیرنده کاهش یا افزایش می دهند.
- در آغاز پتانسیل عمل، یون های سدیم وارد سلول شده و متعاقب آن یون های پتاسیم از سلول خارج می شوند. این مکانیسم باعث انتقال پتانسیل عمل در طول آکسون شده و به این شکل پیام عصبی منتقل می شود.



- انتقال دهنده های عصبی به ۶ دسته تقسیم می شوند. تاثیرات انتقال دهنده های عصبی به دلیل وجود مکانیسم های جمع آوری مجدد و تجزیه ی آنزیمی کوتاه مدت است.
- دانش بدست آمده از سیناپس ها و انتقال دهنده های عصبی جهت فهم تاثیرات داروها اهمیت دارد.

یادداشت های مترجم :

[۱] قبلاً عقیده بر این بود که انسان بالغ نمی تواند نورون های جدید تولید کنند. این طور فرض می شد که در پستانداران، عمده ی فرایند تکثیر نورون ها در اوایل رشد جنینی در رحم رخ می دهد و در بقیه ی مراحل عمر، نورون های جدیدی تولید نخواهد شد. طبق این دیدگاه، ساختار مغز تنها به دو شکل می توانست تغییر کند :

۱. تولید سلول های گلیایی جدید

۲. رشد انشعابات دندریتی نورون ها

اما این دیدگاه قدیمی با پژوهش های جدید، تا حدودی زیر سوال رفته است. این پژوهش ها نشان می دهد مغز فرد بزرگسال نیز تحت تاثیر تجربه، سن و مواد شیمیایی قادر است نورون های جدید تولید کند ! (گولد، بلین، تاناپات، ریوز و شورز (۱۹۹۵ و ۲۰۰۱) وان پراگ، کمپرمان و گیج (۱۹۹۹ و ۲۰۰۲)

- نقل از زمینه ی روانشناسی آتکینسون و هیلگارد انتشارات ارجمند صفحه ی ۶۲



زیست شناسان دانشگاه پرینستون گزارش داده اند که مغز میمون ها به طور مداوم به تولید هزاران نورون جدید مشغول است. (پدیدآیی نورونی neurogenesis) مطالعه ی سایر جانوران نیز نشان داده است هرگاه جانوران در محیط های تحریک زا قرار گیرند و مهارت های جدیدی بیاموزند، نورون ها افزایش می یابند. به نظر می رسد که همین فرایندها در مغز آدمی نیز به وقوع می پیوندد. (هالس و هالس ۱۹۹۹). لیکن هنوز هم این مطلب صحیح به نظر می رسد که بخش اعظم نورون ها پیش از تولد نوزاد تولید می شوند.

در طول دورانِ کودکی، حجمِ کثیری از نورون ها و سیناپس های نابالغ، برای تشکیل شبکه های عصبی ای که در حقیقت ساختارِ زیستیِ ذهنِ فرد را تشکیل می دهند، امکان یا زمینه ای فراهم می آورند. با این وجود، در خلال سال های پس از تولد (دوره ی کودکی)، این تجاربِ کودک است که تا حدِ زیادی تعیین می کند کدامین پیوند های سیناپسی تحکیم شوند و کدامیک از بین بروند.

نقل از نظریه های نوین تحول انسان - تامس موری هانس ترجمه ی حامد برآبادی - حمیدرضا آقا محمدیان - نشر نی - چاپ اول - صفحه ی ۱۲۰ - ۱۲۱

[۲] نورون های حسی (گیرنده های حسی) عموماً به نوع خاصی از محرک نظیر نور، دما، تحریک مکانیکی یا صوتی پاسخ می دهند. با این وجود اکثر آنها را می توان به اشکال گوناگون انرژی نیز



تحریک نمود. به طور مثال گیرنده های بصری (میله و مخروطی) معمولاً به انرژی نوری پاسخ می دهند اما می توان آنها را با محرک های مکانیکی مانند فشار بر کره ی چشم نیز تحریک نمود. نوع محرکی که گیرنده ی معینی نسبت به آن بیشترین حساسیت را دارد، محرکِ بسنده نامیده می

شود. محرکِ بسنده شکلی از تحریک است که گیرنده ای معین نسبت به آن پایین ترین حد آستانه را داراست.

نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبله -



◀ گیرنده های حسی انسان (چشایی، لامسه، بینایی و...) به او امکان می دهند تا با محیط پیرامون خود ارتباط برقرار کند. به عبارت دیگر، گیرنده های حسی انسان، پل ارتباطی او با محیط پیرامونش به شمار می روند.

[۳] به طور کلی سیستم های حسی بدن را می توان به دو دسته تقسیم نمود.

۱. سیستم های حسی که با محیط دوربرد رابطه دارند. مهمترین سیستم حسی دوربرد بینایی است. از

سیستم های دوربرد دیگر می توان به شنوایی و بویایی اشاره کرد.

۲. سیستم های حسی که با احساس بدن ارتباط دارند. از جمله حس های بدنی (تنی) می توان به

حس های مربوط به پوست (بساوایی، فشار، دما، درد)، مفاصل، عضلات و سیستم های دهلیزی (

که مجموعاً گیرنده های عمقی نامیده می شوند) اشاره کرد.

نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبله -

[۴] دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. بار الکتری مثبت و بار الکتریکی منفی. بارهای مثبت، بارهای مثبت را دفع می کنند و بارهای منفی نیز بارهای منفی را، اما بارهای مثبت و منفی همدیگر را جذب می کنند. از این رو هنگامی که بارهای مثبت و منفی از هم جدا باشند، نیروی الکتری بارهای ناهمنام را به سوی هم می راند. این خاصیت بنیادی ماده است. همانطور که می بینید نخستین شرط تولید جریان الکتریسته، مجزا بودن بارهای مثبت و منفی است. این عمل در نورون انجام می شود. غشاء نورون باعث می شود تا درون غشاء از لحاظ الکتریکی در مقایسه با بیرون غشاء منفی باشد و بدین شکل اختلاف پتانسیلی پدید آید.

نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبه - صفحه ی ۱۴۹

[۵] شاید سوال کنید، چرا پتانسیل آرامش نورون ۷۰- میلی ولت است؟ دلیل این که چرا باید اینطور باشد، بسیار پیچیده است. بخش مهمی از پاسخ این پرسش به « پمپ سدیم - پتاسیم » مربوط می شود. این پمپ، پیوسته یون های سدیم را به بیرون نورون انتقال می دهد و در مقابل به طور همزمان یون های پتاسیم را وارد نورون می کند. به طور دقیق تر این پمپ، ۳ یون سدیم را خارج و ۲ یون پتاسیم را وارد می کند. از آنجاییکه هم یون های سدیم و هم پتاسیم یک بار الکتریکی مثبت دارند در نتیجه این پمپ موجب می شود تا یون های مثبت فقط به خارج از نورون حرکت کنند و درون نورون منفی تر از خارج نورون گردد. علاوه بر پمپ سدیم - پتاسیم، نفوذپذیری انتخابی غشاء نیز در این ماجرا نقش دارد.

نقل از روانشناسی فیزیولوژیک کالات - انتشارات دانشگاه شاهد صفحه ی ۵۸ - م

[۶] آستانه ی تحریک : به حداقل سطح ولتاژی که برای راه اندازی یک پتانسیل عمل لازم است، اصطلاحاً آستانه ی تحریک می گویند. باید توجه کرد که آستانه ی تحریک برای همه ی نورون ها، یکسان نیست. برخی از نورون ها، آستانه ی پایین تری دارند و در نتیجه در مقایسه با نورون های دیگر به محرک های ضعیف تری پاسخ می دهند. همچنین، محرکی که برای بعضی از نورون ها فوق آستانه ای است، ممکن است برای دیگران زیر آستانه باشد.

نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبله - صفحه ی ۱۵۷

[۷] به پیام های برانگیزاننده اصطلاحاً (Excitatory post synaptic potential = Epsp) و به پیام های بازدارنده (Inhibitory post synaptic potential = Ipsp) گفته می شود. همانطور که دیدیم Epsp ها احتمال شلیک نورون را افزایش می دهند در حالی که Ipsp ها احتمال شلیک نورون را کاهش می دهند. اگر مجموع Epsp ها به حد آستانه برسد، پتانسیل عمل در سراسر نورون با روش همه یا هیچ انتشار می یابد. با این حال، از آنجاییکه اثرات Epsp ها توسط Ipsp ها خنثی می شود، حالت نورون در هر لحظه به برآیند تمامی Ipsp ها و Epsp هایی که به آن می رسد، بستگی دارد.

نقل از یادگیری و کنترل حرکتی از دیدگاه روانشناسی عصب شناختی اثر جورج سیچ ترجمه ی حسن مرتضوی نشر سنبله - صفحه ی ۱۶۶ - ۱۷۲