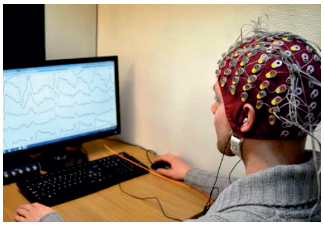
فصل اول تنظیم عصبی

درسنامه

گفتار ۱ مقدمه و ویژگی یاخته‌های بافت عصبی

مقدمه:



نـوار مغـزی یا الکتروآنسـفالوگرام (EEG) جریـان الکتریکی **یاخته‌های عصـبی مغز** را ثبت می‌کند و بـا توجه به آن می‌توان **فعالیت‌های مغز** را بررسی کرد. در این روش الکترودهایی را به سر وصل می‌کنند.

در ایـن فصـل می‌خواهیم به نحوه **ایجاد پیـام الکتریکی** در یاخته‌های عصبی و **هدایت و انتقال آن** در بدن بپردازیم و سپس قسمت‌های مختلف دستگاه عصبی را بررسی کنیم.

یادآوری

از علوم هشتم به یاد دارید که:

- یاخته‌های بافت عصبی
  - یاخته **عصبی** ← جریان الکتریکی ضعیف ایجاد می‌کند.
  - یاخته **غیرعصبی** (پشتیبان) ← فعالیت عصبی ندارند و نقش کمکی دارند.
- اجزای یاختهٔ عصبی
  - دندریت ← پیام عصبی را به سمت جسم یاخته‌ای می‌برد.
  - جسم یاخته‌ای ← حاوی هسته و بیشتر اندامک‌ها می‌باشد.
  - آکسون ← جریان عصبی را از جسم یاخته‌ای تا انتهای خود هدایت می‌کند.
- انواع فعالیت‌های بدن
  - ارادی ← تحت کنترل مغز
  - **غیر ارادی** (انعکاسی) ← تحت کنترل **مغز و نخاع**
    - سرفه، عطسه، ریزش اشک، پلک زدن، انعکاس‌ها و...
- اعصاب
  - حسی ← پیام را به مراکز عصبی **مغز و نخاع** می‌برند.
  - حرکتی ← پیام حرکتی را از مراکز عصبی به اندام‌های عمل‌کننده می‌برند.
  - مختلط ← این اعصاب در نخاع و برخی اعصاب مغزی قرار دارند که هم دارای تار حسی و هم حرکتی می‌باشند ولی کتاب درسی شما بررسی نکرده است.
- دستگاه عصبی
  - مرکزی ← مغز و نخاع ← کنترل فعالیت‌های ارادی و غیر ارادی را انجام می‌دهد.
    - شامل بخش‌های اصلی به نام مخ، مخچه، ساقهٔ مغز و نخاع می‌باشد.
  - محیطی ← تمام قسمت‌های بدن را با **بخش مرکزی** دستگاه عصبی یعنی مغز و نخاع مرتبط می‌کند.

انواع یاخته‌های بافت عصبی

بافت عصبی دو نوع یاخته عصبی (نورون) و غیرعصبی (پشتیبان) دارد.

الف) یاخته‌های عصبی (نورون‌ها)

هر یاخته عصبی از سه قسمت به وجود آمده است:

● ۱) دندریت (دارینه)

رشته‌هایی هستند که پیام عصبی دریافت کرده و به سمت جسم یاختهٔ عصبی هدایت می‌کنند که سیتوپلاسم اندکی دارند و منشعب هستند (یا در انتهای خود انشعاب دارند).

۲) جسم یاخته‌ای

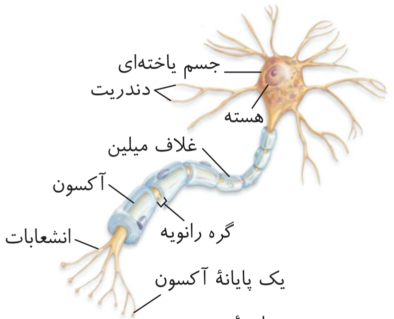
بخش حجیم شامل **هسته و اغلب اندامک‌ها** است که مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم زیادی نیز در آن واقع می‌باشد. جسم یاخته‌ای، پیام عصبی را یا مستقیماً از یاختهٔ عصبی دیگری می‌گیرد و یا از دندریت‌های همان یاختهٔ عصبی گرفته و در نهایت به آکسون همان یاختهٔ عصبی **هدایت** می‌کند. در فصل‌های بعد خواهیم خواند که هسته در جسم یاخته‌ای، بعد از تولد **معمولاً** تقسیم نمی‌شود و رشد یا بزرگ شدن یاخته و بافت عصبی در اثر افزایش حجم آن صورت می‌گیرد. درون جسم یاخته‌ای همانند سایر یاخته‌ها اندامک‌های مختلفی مثل راکیزه‌ها برای ATPسازی یا تنفس یاخته‌ای شبکهٔ آندوپلاسمی و گلژی، برای پروتئین‌سازی و لیپیدسازی و سایر موارد مورد نیاز **سوخت‌وساز یاخته** وجود دارند (*البته بر اساس شکل کتاب، در انتهای آکسون تعداد زیادی راکیزه نیز وجود دارد که جلوتر بررسی می‌کنیم*).

نگاهی به آینده

جسم یاخته‌ای دستورالعمل ژنی ساخت پروتئین‌ها و سایر مواد متابولیسمی درون یاختهٔ عصبی را صادر می‌کند. هستهٔ این یاخته معمولاً همانندسازی ندارد ولی سایر موارد مثل ساخت رنا و تولید عوامل لازم برای فرایندهای یاخته‌ای را انجام می‌دهد.

۳) آکسون‌ها (آسه)

رشته‌هایی هستند که پیام عصبی را از جسم یاخته‌ای به سمت انتهای خود **هدایت** می‌کنند. در انتهای آکسون‌ها (*پایانهٔ آکسونی*) **انشعابات** و **میتوکندری** زیادی وجود دارد. این میتوکندری‌ها انرژی لازم برای برون‌رانی ناقل عصبی و **انتقال** پیام عصبی را فراهم می‌کنند. این عوامل سبب **تحریک** یا **مهار** یاخته بعدی می‌شوند.



«یاختهٔ عصبی»

نکته

هر یاختهٔ عصبی، همواره یک آکسون و یک جسم یاخته‌ای دارد ولی تعداد دندریت متغیر است.

ویژگی‌های یاخته‌های عصبی:

- **الف) تحریک‌پذیری:** این ویژگی برای **ایجاد پیام عصبی** به صورت یک جریان الکتریکی **ضعیف** می‌باشد.
- **ب) هدایت پیام عصبی:** سیر پیام عصبی در **یک** یاختهٔ عصبی است که می‌تواند از دندریت به جسم یاخته‌ای و از آنجا به انتهای آکسون **همان یاختهٔ عصبی** باشد.
- **ج) انتقال پیام عصبی:** فعالیتی است که با ارتباطی به نام **سیناپس** صورت می‌گیرد. این عمل از طریق انشعابات انتهای آکسون یک یاختهٔ عصبی و **اغلب** با آزاد کردن ماده‌ای به نام ناقل عصبی صورت می‌گیرد تا یاخته بعدی را تحریک یا مهار کند.

ب) یاخته‌های غیرعصبی در بافت عصبی (پشتیبان‌ها)

این یاخته‌ها وظیفهٔ تولید پیام عصبی و ایجاد جریان الکتریکی **ندارند** ولی یاخته‌های **کوچکی** با توانایی **تقسیم** شدن هستند که در اطراف یاخته‌های عصبی قرار می‌گیرند. **تعداد** این یاخته‌ها **چند برابر** یاخته‌های عصبی می‌باشد و **انواع گوناگونی** دارند.

وظیفه یاخته پشتیبان (نوروگلیا)

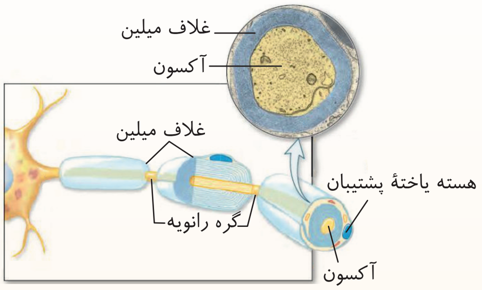
۱) برخی از این یاخته‌ها، **داربست‌هایی** را برای استقرار یاخته‌های **عصبی** ایجاد می‌کنند.

۲) این یاخته‌ها **انواع** گوناگونی دارند، **برخی** سبب **دفاع** از یاخته‌های عصبی می‌شوند و **برخی** در تغذیه و حفظ هم‌ایستایی یا هومئوستازی **مایع اطراف** یاختهٔ عصبی نقش دارند (*می‌توانند میکروب‌های اطراف یاختهٔ عصبی را از بین ببرند یا مقدار طبیعی یون‌های آن را توازن ببخشند*).

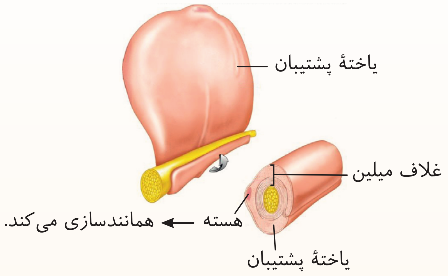
۳) در **بسیاری** از یاخته‌های عصبی، این یاخته‌ها به دور **آکسون‌ها و یا دندریت‌ها** می‌پیچند و به صورت غلافی **عایق** به نام **میلین** برای محافظت از یاخته‌های عصبی درمی‌آیند. **این یاخته‌ها در اطراف جسم یاخته‌ای و انتهای آکسون‌ها وجود ندارند** ولی در **قسمت‌هایی** از آکسون و دندریت تشکیل می‌شوند. قسمت‌های میلین‌دار، عایق و **ناپیوسته** هستند و دارای جریان الکتریکی نمی‌باشند. به قسمت‌هایی در این رشته‌ها که میلین ندارند، **گره رانویه** می‌گویند. در این گره‌ها پیام عصبی به صورت **جهشی** در طول یاختهٔ عصبی **هدایت** می‌شود (*غلاف میلین در حقیقت خود یاختهٔ پشتیبان بوده است که واجد هسته با تمام ژن‌های یک جاندار می‌باشد*).

نکته

در ادامه یاد می‌گیرید که یاخته‌های عصبی میلین‌دار، هدایت **جهشی** پیام عصبی بین گره‌های رانویه دارند و نسبت به یاخته‌های عصبی **هم‌قطر** فاقد میلین، سرعت هدایت پیام عصبی در آن‌ها **بیشتر** می‌باشد.



«غلاف میلین»



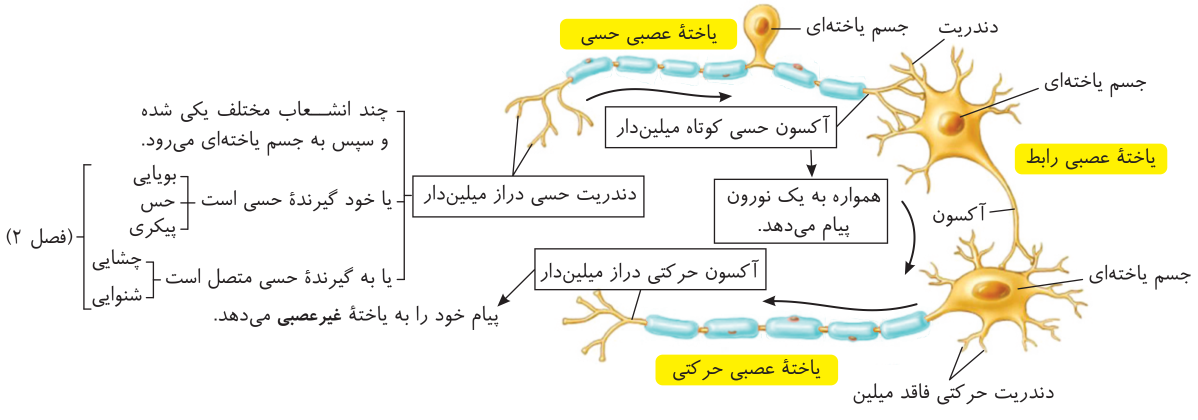
«چگونگی ساخت آن»

نکته
دقت کنید که هر یاختهٔ عصبی در اطراف خود، نوعی یاختهٔ پشتیبان دارد که باید برای آن هم‌ایستایی انجام دهد. پس فکر نکنید که یاخته‌های عصبی فاقد میلین، یاختهٔ پشتیبان در کنار خود ندارند.

نکته
به دندریت‌ها یا آکسون‌های بلند **تار عصبی** گفته می‌شود که مجموعه آن‌ها در کنار هم توسط **غلاف پیوندی** مشترکی احاطه شده و عصب را ایجاد می‌کند. **در حقیقت عصب مجموعه آکسون‌ها یا دندریت‌ها و یا هر دو با هم در درون یک غلاف پیوندی می‌باشد** یعنی در بخشی که به آن‌ها **عصب** گفته می‌شود، **جسم یاخته‌ای وجود ندارد** (این مطلب را در گفتار بعد به‌طور کامل‌تری بحث می‌کنیم!).

انواع یاخته‌های عصبی از نظر کاری که انجام می‌دهند

- **A) یاختهٔ عصبی حسی:** پیام عصبی را به سوی **مغز و نخاع** یعنی بخش مرکزی دستگاه عصبی می‌آورند. در این یاخته‌های عصبی، از **یک نقطهٔ** جسم یاخته‌ای، هم آکسون و هم دندریت خارج می‌شوند که هر دو میلین دارند ولی معمولاً طول دندریت از آکسون آن بلندتر است. این یاختهٔ عصبی پیام خود را همواره به یاختهٔ عصبی دیگری منتقل می‌کند.
- **B) یاختهٔ عصبی حرکتی:** این یاخته‌ها که دندریت‌های کوتاه و **یک آکسون دراز** دارند، پیام عصبی پردازش شده را از بخش اعصاب مرکزی (مغز و نخاع) به سوی برخی اندام‌ها مثل **ماهیچه یا غدد** می‌برند. آکسون اغلب این یاخته‌های عصبی به‌جز در بخش انتهایی خود و گره‌های رانویه، در سایر قسمت‌ها میلین دارند. این یاخته‌ها فقط سبب **تحریک** ماهیچه‌ها و غدد می‌شوند.
- **C) یاختهٔ عصبی رابط:** این یاخته‌ها اندازهٔ **کوچکی** دارند و در **مغز و نخاع** قرار گرفته‌اند که ارتباط دهنده یاخته‌های عصبی حسی و حرکتی می‌باشند.
- **نکته:** هر سه نوع یاختهٔ عصبی برحسب فعالیت و محل خود، می‌توانند میلین‌دار باشند یا نباشند.



«انواع یاخته‌های عصبی»

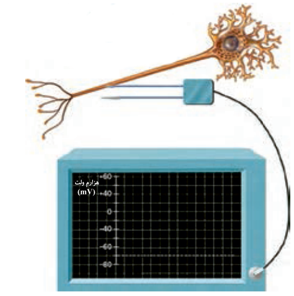
نکته
با توجه به شکل بالا، می‌توان دریافت که آکسون‌ها پیام عصبی را از انتهای خود به دندریت یا جسم یاخته‌ای یاختهٔ عصبی بعدی و یا به غدد و ماهیچه می‌توانند منتقل کنند.

● ارتباط نورون‌ها

نورون حسی ←
- نورون حسی ← مثل ارتباط آن‌ها در شبکیه یا در پیاز بویایی
- نورون حرکتی ← برای عمل یک اندام عمل‌کننده (ماهیچه یا غده)
- نورون رابط ← نورون حرکتی ← اندام عمل‌کننده

تحریک‌پذیری و هدایت پیام عصبی در یاخته‌های عصبی

در بدن انسان، یاخته‌های عصبی نیز مانند سایر یاخته‌ها در فضای بین‌یاخته‌ای که قسمتی از **محیط داخلی بدن** می‌باشد قرار دارند. در درونِ یاخته و بیرونِ یاخته مقدار متفاوتی از یون‌ها یا بار الکتریکی وجود دارد. **مثلاً مقدار یون‌های سدیم همواره در بیرونِ یاخته از درون یاخته بیشتر است ولی مقدار یون‌های پتاسیم برعکس آن در درون یاخته بیشتر از بیرون آن می‌باشد.** در نتیجه این اختلاف یون‌ها، بین دو سوی غشای یاخته‌های عصبی و هر یاخته دیگری، **اختلاف پتانسیل الکتریکی** ایجاد می‌شود. این اختلاف پتانسیل الکتریکی درون یاخته نسبت به بیرون آن را با دستگاه‌های بسیار حساس به نام ولت‌متر می‌توان اندازه گرفت که در این دستگاه‌ها دو الکترود یکی درون یاخته و یکی در بیرون آن قرار می‌گیرد.



«اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سوی غشای یاختهٔ عصبی»

نکته

در بررسی اختلاف پتانسیل الکتریکی یاخته‌ها به دو نکته باید توجه کنیم. نکته اول اینکه عددی که در سؤالات مطرح می‌شود، **اختلاف** پتانسیل الکتریکی **درون یاخته به نسبت بیرون یاخته** است و نکته دوم اینکه در این اختلاف **فقط یون‌های مثبت سدیم و پتاسیم** را بررسی می‌کنیم. مثلاً وقتی می‌گوییم اختلاف پتانسیل الکتریکی در حالت (۱) به اندازه ۷۰− میلی‌ولت و در حالت (۲) به مقدار ۳۰+ میلی‌ولت است، حالت اول یعنی جمع بارهای مثبت سدیم و پتاسیم **درون** یاخته، ۷۰ میلی‌ولت از جمع آن‌ها در بیرون یاخته **کمتر** است و در حالت دوم یعنی جمع این یون‌ها در **درون** یاخته ۳۰ میلی‌ولت از بیرون آن بیشتر می‌باشد یا هنگامی که از عدد صفر استفاده می‌کنیم، یعنی جمع یون‌های سدیم و پتاسیم درون و بیرون یاخته با هم برابر است ولی باز هم تکرار می‌کنم که همواره سدیم (*چه در ۷۰− چه در صفر و چه در ۳۰+*) در بیرون یاخته و پتاسیم در درون یاخته از سمت دیگر تراکم بیشتری دارد.

پروتئین‌های انتقال دهنده یون‌ها در غشای یاخته‌ها برای ایجاد پتانسیل‌های غشایی

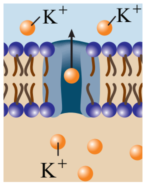
در عرض غشای یاخته‌های عصبی نیز، مولکول‌های پروتئینی سراسری مختلفی برای عبور یون‌های سدیم و پتاسیم وجود دارند که آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

الف) کانال‌های یونی

کانال‌های غشایی، انواعی از پروتئین‌های سراسری در عرض دو لایهٔ فسفولیپید غشا می‌باشند که **بدون صرف انرژی** و **با انتشار تسهیل شده** سعی دارند **در جهت شیب غلظت** یون‌های سدیم را از فضای بین‌یاخته‌ای با تراکم زیاد به درون یاخته بیاورند و یون‌های پتاسیم را نیز **در جهت شیب غلظت** از درون یاخته به بیرون **منتشر** کنند. دقت کنید که هدف نهایی همهٔ این کانال‌ها، برقراری تعادل بین غلظت ماده در دو طرف غشای یاخته می‌باشد که البته هیچ‌گاه فرصت ندارند به هدف نهایی خود برسند.

انواع کانال‌های یونی سدیم و پتاسیم:

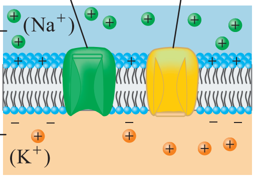
۱) کانال‌های نشتی (*بدون دریچه یا همیشه باز*): این کانال‌ها **همواره باز** هستند و نفوذپذیری بیشتری نسبت به خروج پتاسیم تا ورود سدیم دارند. (*این کانال‌ها اختصاصی عمل می‌کنند و همیشه فعال هستند.*)



«کانال نشتی»

توجه! در اینجا یک اختلاف نظر وجود دارد که این کانال‌های نشتی، هم سدیم و هم پتاسیم را عبور می‌دهند یا برخی با تعداد کم به‌طور اختصاصی فقط سدیم را وارد می‌کنند و برخی با تعداد بیشتر، پتاسیم را به‌طور اختصاصی خارج می‌کنند. البته نظر بنده بر اساس شکل مقابل به گروه دوم نزدیک‌تر است!

۲) کانال‌های دریچه‌دار: این کانال‌ها برای سدیم یا پتاسیم **اختصاصی** هستند و فقط یک نوع یون را از کانال دریچه‌دار خود عبور می‌دهند که می‌توانند **باز و بسته** شوند.

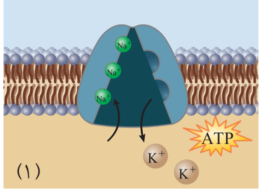


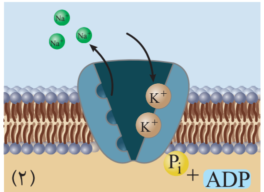
نکته

با توجه به شکل مشاهده می‌کنید که دریچه کانال سدیمی در سطح **خارجی** غشا به سمت فضای بین‌یاخته‌ای و دریچه کانال پتاسیمی در سطح **داخلی** غشا به سمت سیتوپلاسم می‌باشد ولی باز و بسته شدن این دریچه‌ها بدون صرف انرژی می‌باشد (*برای به خاطر سپردن راحت‌تر می‌توانید با خود بگویید دریچه هر کانال، به سمت محلی قرار دارد که یون اختصاصی آن کانال، تراکم بیشتری دارد.*)

ب) پمپ سدیم - پتاسیم

پروتئین سراسری دیگری در عرض غشای یاخته‌ها می‌باشد که هم نقش ترابری دو نوع یون مختلف با **انتقال فعال** دارد و هم نقش آنزیمی در سطح داخلی یاخته با تجزیه ATP (*هیدرولیز ATP رایج‌ترین انرژی زیستی*) دارد. این پمپ‌ها با هر بار فعالیت در پی هیدرولیز ATP، سبب می‌شوند که ابتدا **سه یون سدیم** در **خلاف** جهت شیب غلظت به سمت **بیرون یاخته** و سپس **دو یون پتاسیم** نیز در جهت **خلاف** شیب غلظت به **داخل یاخته** بیاید.





ترتیب عملکرد پمپ سدیم - پتاسیم:

۱) دو یون پتاسیم حاصل از مصرف ATP مرحله قبلی با انتقال فعال وارد یاخته می‌شوند.

۲) سه یون سدیم از داخل یاخته به جایگاه‌های فعال پمپ وصل می‌شوند.

۳) ATP در سطح درونی غشا به ADP و P_i آبکافت می‌شود تا شکل فضایی پمپ تغییر کند.

۴) سه یون سدیم با انتقال فعال خارج می‌شوند و دو یون پتاسیم به پمپ وصل می‌شوند تا دوباره وارد مرحله (۱) شوند.

نکته: این پمپ دو نوع ماده را در دو حالت مختلف و غیرهم‌زمان عبور می‌دهد.

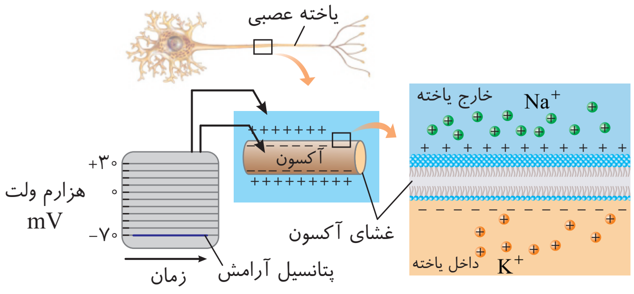
نکته پمپ سدیم - پتاسیم سبب نگهداری شیب غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم دو طرف یاخته در حد مناسب می‌شود. با توجه به اینکه کانال‌های نشتی همیشه باز می‌باشند، فعالیت دائمی این پمپ برای حفظ پتانسیل‌های غشا ضروری می‌باشد. این پمپ سبب می‌شود که همواره مقدار سدیم در خارج یاخته و مقدار پتاسیم در درون یاخته بیشتر از سطح دیگر یاخته باشد.

نکته تنظیم فعالیت کانال‌ها، پمپ‌ها و باز و بسته شدن آن‌ها سبب ایجاد پیام عصبی در یاختهٔ عصبی می‌شود. دقت کنید که در بین این سه عامل، فقط کانال‌های نشتی تغییر فعالیت ندارند و همواره باز هستند ولی سایر پمپ‌ها و کانال‌ها فعالیت آن‌ها در مقاطع مختلف یاخته، متفاوت است.

پتانسیل‌های غشای یاخته‌های عصبی

الف) پتانسیل آرامش (استراحت)

به حالتی گفته می‌شود که در یاختهٔ عصبی **فعالیت عصبی وجود ندارد** و **جریان یا پیام عصبی** در آن دیده نمی‌شود. در این حالت اختلاف پتانسیل دو طرف غشای یاخته ۷۰- **میلی‌ولت** می‌باشد. یعنی جمع بار یون‌های مثبت داخل آن حدود ۷۰ میلی‌ولت از بیرون آن کمتر است.



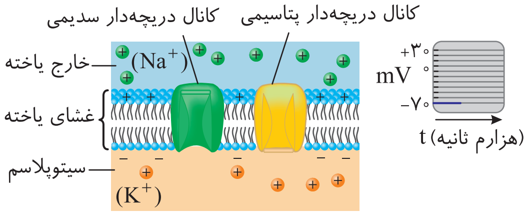
«پتانسیل آرامش»

نکته لازم به ذکر است که یون‌های منفی (*مثل کلر*) و پروتئین‌ها که اغلب بار منفی دارند نیز در اختلاف پتانسیل دو سوی غشا نقش اندکی دارند ولی کتاب درسی فقط اختلاف یون‌های مثبت سدیم و پتاسیم درون و بیرون یاخته را بررسی کرده است.

همان‌طور که گفتیم همواره در حالت طبیعی، تراکم یون‌های سدیم در بیرون یاخته و پتاسیم در درون یاخته زیاد است. **در حالت پتانسیل آرامش یا استراحت در غشای یاخته‌های عصبی، همهٔ کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی بسته می‌باشند** (*یادتون هست که نشتی‌ها بازند که؟!*) و این یون‌ها بدون صرف انرژی، فقط می‌توانند از **کانال‌های همیشه باز** نشتی عبور کنند. یادتان می‌آید که گفتیم این کانال‌ها نسبت به خروج K^+ از یاخته نفوذپذیری **بیشتری** نسبت به ورود سدیم دارند!!! پس اگر حالت آرامش یاخته ادامه یابد و یاختهٔ عصبی تحریک نشود، به تدریج **مقدار زیادی پتاسیم** به صورت انتشار و بدون صرف انرژی از یاخته خارج می‌شود و **مقدار کمی** نیز **سدیم** وارد یاخته می‌شود. در نتیجه نسبت مقدار یون‌های مثبت **درون** یاخته به تدریج کمتر و کمتر شده و این اختلاف می‌تواند لحظه به لحظه منفی‌تر شود!!!

دقت کنید که در هنگام پتانسیل آرامش کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی هر دو بسته می‌باشند. پس چه عاملی اختلاف پتانسیل مناسب سدیم و پتاسیم را در هنگام پتانسیل آرامش در حد ۷۰- نگه می‌دارد؟! یا به عبارت دیگر چه عاملی مقدار تراکم یون‌ها را در این حد آرامش حفظ می‌کند؟

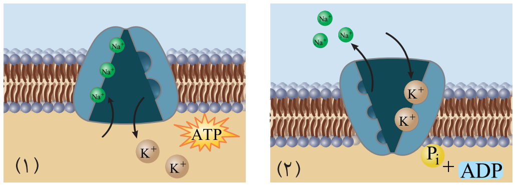
برای پاسخ به سؤال قبل باید دقت کنید که پتانسیل آرامش در **همه یاخته‌ها** وجود دارد. در یاخته‌های عصبی به دلیل نیاز به هم‌ایستایی (*هومئوستازی*) باید اختلاف پتانسیل درون به بیرون آن‌ها در حد ۷۰- حفظ شود. به همین دلیل در غشای **همهٔ** یاخته‌های زنده بدن انسان، **پمپ‌هایی به نام سدیم پتاسیمی** وجود دارد که وقتی این اختلاف به سمت بیشتر از ۷۰ آرامش می‌رود فعال**تر** می‌شود و با مصرف و تجزیهٔ بیشتر ATPهای ساخته شده در یاخته‌ها، انرژی مورد نیاز انتقال فعال بیشتری را به دست می‌آورند. با هر بار فعالیت این پمپ، **خروج سه تا یون** Na^+ **و ورود دو تا یون** K^+ **به یاخته** صورت می‌گیرد. این وضعیت و عمل مداوم و بیشتر پمپ سدیم - پتاسیم سبب می‌شود که شیب غلظت بین دو سوی غشا برای یون‌های Na^+ و K^+ در حد حالت آرامش نگه داشته شود تا در هر لحظه یاختهٔ عصبی **آماده تحریک‌پذیری** یعنی **شروع** ایجاد جریان یا پیام عصبی با نام **پتانسیل عمل** باشد.



در حالت بالا، کانال‌های نشتی و پمپ‌ها فعالند.

● **اگر پمپ سدیم - پتاسیم فعال نشود چه اتفاقی می‌افتد؟**

واضح است که **کانال‌های نشتی** سدیم - پتاسیم هیچ‌گاه بسته نمی‌شوند و روند خروج زیاد K^+ و ورود کم Na^+ آن‌ها ادامه دارد. اگر پمپ سدیم - پتاسیم فعال نشود و یاخته تحریک نشود، ادامه وضعیت انتقال یون‌ها با خروج زیاد یون‌های پتاسیم مثبت، ابتدا سبب اختلاف پتانسیل زیاد درون یاختهٔ عصبی نسبت به بیرون می‌شود (*مثلاً به ۱۰۰- می‌رسد*). در این حالت اصطلاحاً می‌گویند یاخته به آرامش زیادی رسیده است و ممکن است این یاخته دیگر تحریک‌پذیری خود را از دست داده باشد (*این پاراگراف برای درک کتاب درسی آورده شده است.*) ولی در نهایت کانال‌ها و عمل انتشار تا جایی فعال است که مقدار مادهٔ عبوری در دو سوی غشا برابر شود (*زیست‌شناسی دهم*).



«چگونگی کار پمپ سدیم - پتاسیم»

پس از به آرامش رسیدن یاخته‌های عصبی، فعالیت **بیشتر** پمپ سدیم - پتاسیم سبب می‌شود که مقدار شیب غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم دو طرف غشای یاختهٔ عصبی در حد آرامش حفظ گردد یعنی بیشتر بودن سدیم در بیرون و تراکم زیاد پتاسیم در درون یاخته **همواره** حفظ شود تا هومئوستازی (*هم‌ایستایی*) برقرار شود و یاخته آماده تحریک عصبی و ایجاد پتانسیل عمل شود (*دقت کنید که این مورد از هومئوستازی را یاختهٔ عصبی انجام می‌دهد نه پشتیبان!*).

ب) پتانسیل عمل (ایجاد پیام یا جریان عصبی)

پتانسیل آرامش در **همهٔ** یاخته‌های بدن وجود دارد ولی فقط یاخته‌های عصبی و یاخته‌های ماهیچه‌ای در اثر تحریک شدن، قابلیت ایجاد پیام الکتریکی دارند که به آن **پتانسیل عمل** می‌گویند. در اینجا به بررسی این رخداد **در یاختهٔ عصبی** می‌پردازیم.

● پتانسیل عمل

در اثر تحریک یاختهٔ عصبی، به‌طور **ناگهانی** اختلاف پتانسیل دو سوی غشا تغییر می‌کند. در ابتدا با دستگاه ولت‌متر، مشاهده می‌شود که پتانسیل **درون یاخته** نسبت به بیرون آن **مثبت‌تر** می‌شود. به این پدیده که در ادامه به‌طور مفصل آن را بررسی می‌کنیم، **پتانسیل عمل** می‌گویند. پس از **مدت کوتاهی** دوباره این اختلاف پتانسیل با تغییر وضعیت در کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و پتاسیمی غشا به حالت آرامش برمی‌گردد.

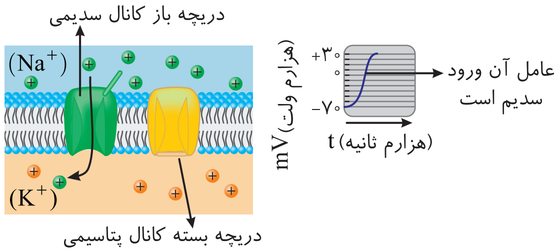
نکته

دقت کنید که پتانسیل عمل در نمودار خود **دو** قسمت **بالا رونده** و **پایین آورنده** دارد که خواهید دید عملکرد هر قسمت در اثر تغییراتی است که در وضعیت کانال‌های **دریچه‌دار** سدیمی و پتاسیمی رخ می‌دهد. این کانال‌های دریچه‌دار با تغییر ولتاژ باز می‌شوند که به آن‌ها کانال‌های اختصاصی دریچه‌دار سدیمی یا پتاسیمی (*یا کانال‌های ولتاژی*) می‌گویند. **این کانال‌ها در حالت پتانسیل آرامش همواره بسته می‌باشند.**

مراحل پتانسیل عمل

● الف) شروع یا قسمت بالاروی نمودار (از اختلاف پتانسیل ۷۰− تا ۳۰+)

وقتی **غشای** یاختهٔ عصبی با محرک مناسبی **تحریک** شود، ابتدا در محل تحریک، **کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند**. این کانال‌ها همان‌طور که در شکل می‌بینید یک دریچه بیرونی (*دریچه‌فعال*) در سمت فضای بین‌یاخته‌ای دارند که با تحریک انجام شده، **باز می‌شود** و سدیم‌ها به مقدار بسیار زیادی و با مکانیسم انتشار تسهیل شده یعنی بدون صرف انرژی زیستی وارد یاخته عصبی می‌شوند. **در این حالت تغییری در وضعیت کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی صورت نمی‌گیرد** (*یعنی کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌مانند!*). ورود بسیار زیاد سدیم سبب مثبت‌تر شدن داخل یاختهٔ عصبی نسبت به بیرون می‌شود که این اختلاف در هر قسمت از تار عصبی (*یاخته عصبی*) حداکثر تا حدود ۳۰+ می‌رسد و نمودار به سمت بالا می‌رود.



نکته

در این مرحله (*و هر مرحلهٔ دیگری*) کانال‌های نشتی فاقد دریچه سدیمی و پتاسیمی همچنان باز هستند و به فعالیت ورود کم سدیم و خروج بیشتر پتاسیم از غشا ادامه می‌دهند (*پس خروج پتاسیم در این مرحله هم دیده می‌شود اما نه از کانال‌های دریچه‌دار*).

نکته

در این مرحله اختلاف پتانسیل دو سوی غشا ابتدا کم شده و از ۷۰ اختلاف به صفر می‌رسد و دوباره از صفر به ۳۰ اختلاف می‌رسد. پس دوباره این اختلاف زیاد می‌شود.

● ب) قله نمودار پتانسیل عمل

اگر تحریک مناسبی به یاختهٔ عصبی وارد شود، این تحریک می‌تواند اختلاف پتانسیل درون یاخته به بیرون را تا حدود ۳۰+ برساند. وقتی این اختلاف در زمان کوتاهی پس از شروع به حداکثر پتانسیل عمل (*یعنی به ۳۰+*) رسید، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند و ورود سدیم را به این کانال متوقف می‌کنند.

چرا فرو بردن سوزن در بدن سبب درد بیشتر در ناحیه می‌شود؟

در یاخته‌های عصبی، قانونی به نام **همه یا هیچ** وجود دارد یعنی اگر شدت تحریک مناسب باشد به حداکثر پتانسیل عمل یعنی به اختلاف ۳۰+ می‌رسد. حال اگر تحریک را بیشتر کنیم، باز هم مقدار و شدت پتانسیل عمل در **یک یاختهٔ عصبی**، حداکثر به اختلاف ۳۰+ می‌رسد و **نمی‌تواند مقدار پتانسیل عمل خود را بالاتر ببرد** ولی با افزایش **شدت** محرک، **تعداد یاخته‌های عصبی بیشتری**، تحریک می‌شوند و **تعداد پتانسیل عمل** در ناحیه بیشتر می‌شود و سبب درک بیشتر و درد شدیدتر می‌شود. **در حقیقت تحریک بیشتر باعث افزایش تعداد پتانسیل عمل می‌شود نه افزایش اختلاف پتانسیل عمل!!**

نکته

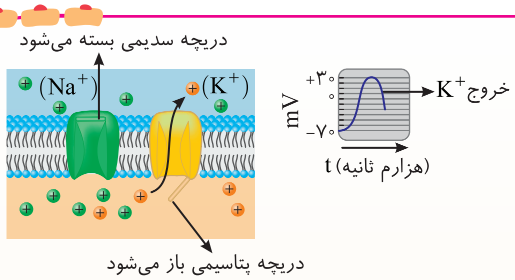
اگر اندامی حساس‌تر باشد (*مثل نوک انگشتان و لب‌ها*) **تعداد** یاخته‌های عصبی گیرنده **بیشتری** دارد و پردازش دقیق‌تری برای آن‌ها در قشر مخ صورت می‌گیرد (*فصل ۲*).

● ج) قسمت پایین‌روی پتانسیل عمل

وقتی در قلهٔ پتانسیل عمل، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته شدند، در فاصله کوتاهی کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی توسط **تنها دریچه خود** که در قسمت **داخل غشا** (*کانال*) و به **سمت سیتوپلاسم** است باز می‌شوند. در این حالت مقدار **فراوانی** یون‌های پتاسیم در **جهت شیب غلظت** از درون یاخته و از طریق کانال‌های دریچه‌دار خارج می‌شوند.

این خروج یون‌های پتاسیم ابتدا اختلاف را از ۳۰ به صفر می‌رساند و سپس سبب منفی شدن درون یاختهٔ عصبی شده و نمودار با شیب **زیاد** به سمت پایین می‌آید. این اختلاف درون به بیرون یاختهٔ عصبی در صورت بسته نشدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، ممکن است شدیداً حتی از ۷۰− نیز پایین‌تر بیاید و هم‌ایستایی یاخته در مقدار یون‌های سدیم و پتاسیم بیرون و درون یاخته و فشار اسمزی آن به خطر بیفتد.

نکته در مرحلـه پاییـن‌روی عمل، یون‌های پتاسیـم، بدون صـرف انرژی هم از کانال‌هـای نشـتی فاقد دریچـه و هم از کانال‌هـای دریچه‌دار خارج می‌شـوند ولی سـدیم فقط کمی از طریق کانال فاقد دریچه (نشـتی) وارد یاخته می‌شود. یادتان باشـد که ایـن کانال‌ها چه نشـتی چه دریچه‌دار مشـتی! فقط در جهت یکسـان کردن مقدار یون‌ها در دو سـوی غشـا عمل می‌کنند (قانون انتشار که یادت هست اگه خدا بخواد!).



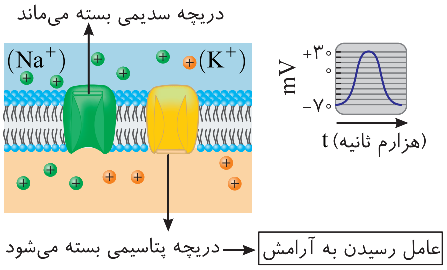
نکته در اینجا لازم به یادآوری است که قدر مطلق |۷۰−| یا |۳۰+| یا هر عدد دیگری بیانگر اختلاف پتانسیل درون نسبت به بیرون یاختهٔ عصبی می‌باشد. پس در هنگام قسمت بالاروی پتانسیل عمل، اختلاف پتانسیل درون یاخته نسبت به بیرون، **ابتدا کم** می‌شود و از ۷۰ به صفر می‌رسد. سپس دوباره این اختلاف **زیاد** شده و از صفر به ۳۰ می‌رسد. در قسمت پایین‌رو نمودار پتانسیل عمل نیز اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاختهٔ عصبی ابتدا از ۳۰ به صفر **کم** می‌شود و سپس تا |۷۰−| یعنی ۷۰ تا اختلاف آن‌ها **زیاد** می‌شود.

نکته از پتانسـیل آرامش تا حداکثر پتانسـیل عمل، ابتدا اختلاف پتانسـیل درون نسـبت به بیرون یاخته، ۷۰ تا کم می‌شود و سپس ۳۰ تا زیاد می‌شود ولی در حالت پایین‌رو نمودار، این اختلاف پتانسیل ابتدا ۳۰ تا کم شده و سپس ۷۰ تا زیاد می‌شود.

چه عاملی سبب تبدیل پتانسیل عمل به آرامش می‌شود؟

تا وقتی کانال دریچه‌دار پتاسیمی باز است هنوز یاخته در مرحله پتانسیل عمل می‌باشد. کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی در **مدت کوتاهی** پس از باز شدن، از سمت دریچه خود در بخش سیتوپلاسمی کانال، بسته می‌شوند و مانع خروج فراوان پتاسیم می‌شوند. **این بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، سبب تبدیل پتانسیل عمل به آرامش می‌شود.**

نکته با دقت در شـکل روبه‌رو متوجه می‌شـوید که در حالت به آرامش رسـیدن غشـا، دریچهٔ مربوط به کانال دریچه‌دار سـدیمی بسـته می‌ماند ولی دریچه پایینی کانال پتاسیمی از حالت باز به بسته درمی‌آید تا پتانسیل آرامش و اختلاف حدود ۷۰− در دو طرف غشا برقرار شود.



نتیجه
- باز شدن کانال دریچه‌دار سدیمی ← سبب تبدیل پتانسیل آرامش به عمل می‌شود.
- بسته شدن کانال دریچه‌دار پتاسیمی ← سبب تبدیل پتانسیل عمل به آرامش می‌شود.

نکته کانال‌هـای دریچـه‌دار سـدیمی و پتاسـیمی هیچ‌گاه هـر دو هم‌زمان باز نمی‌باشـند ولی در پتانسیل آرامش و یک لحظه در قلهٔ پتانسیل عمل، هر دو نوع هم‌زمان بسته می‌باشند.

چه عاملی سبب تنظیم مقدار یون‌های سدیم و پتاسیم دو طرف یاختهٔ عصبی می‌شود؟

بعد از پایان پتانسـیل عمل به دلیل **خروج فراوان پتاسیم** مقدار یون‌های سـدیم و پتاسـیم دو طرف یاختهٔ عصبی با حالت آرامش **متفاوت** می‌باشد. در این حالت فعالیت پمپ‌های سدیم و پتاسیم **بیشتر** می‌شود تا با **صرف انرژی** زیستی *ATP*، سبب خروج یون‌های سدیم و ورود پتاسیم شود و غلظت و مقدار آن‌ها و اختلاف پتانسیل دو سمت یاخته را به حالت آرامش برگرداند.

نکته برای انتشار، انرژی جنبشی مولکول‌های عبوری نقش مهمی دارد ولی برای انتقال فعال انرژی زیستی یا *ATP* نقش بسیار مهمی دارد.

هدایت پیام عصبی در یک یاختهٔ عصبی

ایجاد **پتانسیل عمل** در یاختهٔ عصبی به معنی **ایجاد پیام عصبی** در آن می‌باشد ولی این پیام باید در طول یاختهٔ عصبی **هدایت** شود تا به انتهای آکسون برسد. به جریان پیام عصبی در یک یاختهٔ عصبی که معمولاً از دندریت به سمت جسم یاخته‌ای و از آنجا به سمت انتها یا پایانه‌های آکسون می‌باشد، **هدایت** پیام عصبی می‌گویند.

نکته لازم بـه یـادآوری اسـت که در هنگام **انتقال** پیام عصبی از انتهای آکسـون نورون قبلی به جسـم یاخته‌ای نورون بعدی، **هدایت** پیـام عصبی در نورون بعدی می‌تواند بدون دخالت دندریت، فقط از جسم یاخته‌ای به آکسون نیز صورت بگیرد که این موضوع را در ادامه در مبحث سیناپس توضیح می‌دهم.

انواع هدایت پیام عصبی در یاخته‌های عصبی
- ۱) هدایت نقطه به نقطه
- ۲) هدایت جهشی

نکته لطفاً دقت کنید که واژهٔ **هدایت** پیام عصبی را فقط برای سیر پیام عصبی در یک یاختهٔ عصبی در نظر می‌گیریم ولی واژهٔ **انتقال** برای سیر پیام عصبی بین دو یاخته می‌باشد.

۱) هدایت نقطه به نقطه

در برخی یاخته‌های عصبی، که **فاقد میلین** عایق هستند، کل غشای یاختهٔ عصبی در تماس با محیط می‌باشد و **هر قسمت** آن توانایی ایجاد **پتانسیل عمل** دارد *(همانند یاختهٔ عصبی رابط موجود در مادهٔ خاکستری نخاع)*. در این یاخته‌های عصبی، پتانسیل عمل ایجاد شده در یک نقطه، به صورت **نقطه به نقطه** از دندریت به سمت جسم یاخته‌ای و از آنجا به سمت انتهای آکسون **هدایت** می‌شود. در هدایت نقطه به نقطه باید دقت کنید که قسمتی که در پتانسیل عمل است سبب تحریک قسمت جلویی می‌شود، وقتی در قسمت جلویی پتانسیل عمل ایجاد شد، قسمت قبلی با بسته شدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی به حالت آرامش درمی‌آید و همین‌طور ادامه می‌یابد تا پیام عصبی به پایانه‌های آکسونی برسند *(در حقیقت هر کانال دریچه‌دار با عمل خود سبب باز شدن کانال دریچه‌دار بعدی می‌شود یعنی اگر تحریک از وسط دندریت شروع شده دیگر پیام به قسمت قبل از آن هدایت نمی‌شود)*.

نکته
در هدایت نقطه‌ای نیز وقتی پتانسیل عمل در نقطه‌ای تمام شد، پمپ سدیم - پتاسیم مقدار یون‌های آن منطقه را به حالت آرامش برمی‌گرداند.

به نکات مجاور شکل‌های زیر به ترتیب و با دقت توجه کنید!

* ابتدا کل یاخته در حال **پتانسیل آرامش** می‌باشد.

اختلاف پتانسیل درون غشا نسبت به بیرون منفی می‌باشد.

* شروع پتانسیل عمل:

الف) در اثر محرک، در ابتدای آکسون نورون، پتانسیل عمل ایجاد شده است.

در منطقهٔ (۱) کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز شده است.

ب) پتانسیل عمل به نقطه جلوتر رسیده و قسمت قبلی به سمت پایین‌رو پتانسیل عمل می‌رسد.

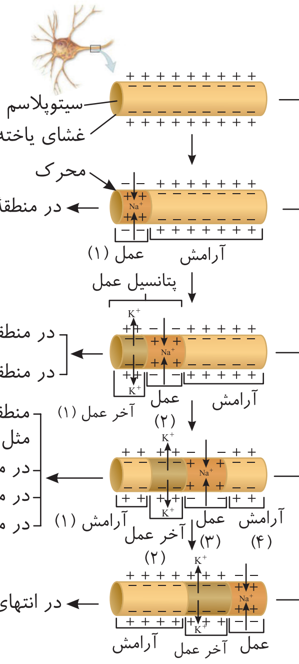
در منطقهٔ (۱) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز شده است.
در منطقهٔ (۲) کانال‌های دریچه‌دار سدیمی مجاور باز شده است.

ج) هرچه پتانسیل عمل جلوتر می‌رود، منطقه پشتی‌تر به پتانسیل آرامش اولیه می‌رسد.

منطقهٔ (۱) با فعالیت شدید پمپ‌ها به آرامش اولیه رسیده است (یعنی مقدار یون‌ها مثل قبل شده است).
در منطقهٔ (۲) کانال دریچه‌دار پتاسیمی باز شده است. ← انتهای پتانسیل عمل
در منطقهٔ (۳) کانال دریچه‌دار جدید سدیمی باز شده است. ← شروع پتانسیل عمل
در منطقهٔ (۴) هنوز پتانسیل عمل نرسیده است. ← آرامش

د) پتانسیل عمل به آخر نورون رسیده است.

در انتهای نورون نیز پتانسیل عمل ایجاد شده است.



«هدایت پیام عصبی»

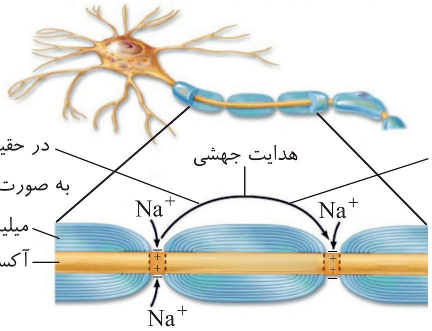
۲) هدایت جهشی پیام عصبی

وقتی سرعت هدایت پیام عصبی را در دو یاختهٔ عصبی **هم‌قطر**، که یکی میلین دارد یکی فاقد میلین است را با هم مقایسه می‌کنیم، مشاهده می‌شود که در **یاختهٔ عصبی میلین‌دار**، پیام عصبی سرعتی *(در حدود چند صد برابر)* بیشتر از یاختهٔ عصبی **هم‌قطر** ولی فاقد میلین دارد.

● چرا سرعت هدایت در تارهای میلین‌دار بیشتر است؟

در ابتدای درسنامه گفتیم که میلین ساختاری **عایق** است که از پیچیدن یاخته‌های پشتیبان به دور **آکسون و دندریت** یاخته‌های عصبی ایجاد می‌شود. این ماده در قسمت‌هایی که قرار می‌گیرد مانع انتقال یون‌ها از یاخته‌های عصبی می‌شود **و به همین دلیل در مناطق میلین‌دار پتانسیل عمل ایجاد نمی‌شود.** در تارهای میلین‌دار، میلین به صورت **منقطع** وجود دارد. در محل‌هایی که میلین تشکیل نشده است، بخش‌هایی به نام **گره رانویه** ایجاد شده است. **در این قسمت‌ها غشای یاختهٔ عصبی در تماس با آب و فضای بیرون یاخته‌ای است.** در گره‌های رانویه پتانسیل عمل ایجاد می‌شود و پیام عصبی درون رشته عصبی از یک گره رانویه به گره دیگر به صورت **جهشی** هدایت می‌شود. در حقیقت پیام عصبی انگار از یک گره به گره دیگر به صورت جهشی می‌پرد و سبب باز شدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی و سپس پتاسیمی گره بعدی می‌شود.

در این یاخته‌های عصبی به دلیل هدایت جهشی سرعت هدایت پیام عصبی بسیار بیشتر از یاختهٔ عصبی هم‌قطر فاقد میلین می‌باشد و نیازی به تحریک نقطه به نقطه نمی‌باشد.



«هدایت جهشی در نورون میلین‌دار»

نکته یاخته‌های عصبی حرکتی تحریک‌کنندهٔ ماهیچه **اسکلتی** که مربوط به اعصاب پیکری هستند، همواره میلین‌دار می‌باشند چون سرعت ارسال پیام در ماهیچه اسکلتی اهمیت زیادی دارد (*در انتهای این فصل از اعصاب پیکری و نکات و چندوچون آن باخبر می‌شوید!*).

نکته **جسم یاخته‌ای** یاختهٔ عصبی هیچ‌گاه میلین ندارد در نتیجه در جسم یاخته‌ای هر یاختهٔ عصبی هدایت پیام عصبی به صورت **نقطه به نقطه** می‌باشد و غشای آن حاوی پمپ‌ها و کانال‌های یونی فراوانی می‌باشد.

نکته در فعالیت کتاب اشاره شده است که در یاخته‌های عصبی میلین‌دار، در گره‌های رانویه کانال‌های دریچه‌دار **زیادی** وجود دارد ولی در فاصله بین گره‌ها که عایق می‌باشد، کانال‌های دریچه‌دار سدیمی یا پتاسیمی وجود ندارد و پتانسیل عمل در آن مناطق ایجاد نمی‌شود.

نکته **کاهش یا افزایش** مقدار میلین با تغییر در سرعت **هدایت** پیام عصبی، سبب بیماری می‌شود. در بیماری *MS* یا **مالتیپل اسکلروزیس** به دلیل **از بین رفتن یاخته‌های پشتیبان** میلین‌ساز (*نه هر نوع پشتیبان*) در دستگاه عصبی **مرکزی** (*مغز و نخاع*) و کاهش میلین، ارسال پیام عصبی به درستی صورت نمی‌گیرد. در این بیماری **بینایی و حرکت** فرد مختل شده و فرد دچار **لرزش** و **بی‌حسی** می‌شود. در فصل‌های جلوتر می‌آموزید که این بیماری در اثر فعالیت سیستم ایمنی بدن بر علیه خود بدن به عنوان یک بیماری **خودایمنی** فعال شده است.

انتقال پیام عصبی (سیناپس)

وقتی جریان عصبی یا همان **پتانسیل عمل** به پایانه‌های آکسون یاختهٔ عصبی برسد، این پیام عصبی می‌تواند به **یاخته عصبی، ماهیچه‌ای یا غدد** منتقل شود. به این ویژگی که پیام عصبی (*پتانسیل عمل*) یک یاختهٔ عصبی سبب **تغییر فعالیت الکتریکی** یاختهٔ بعدی شود، **انتقال پیام عصبی** و به این رابطه **همایه** (*سیناپس*) می‌گویند. در سیناپس به‌طور معمول دو یاخته به هم **نمی‌چسبند** و فضایی به نام **فضای همایه‌ای** (*سیناپس*) بین آن‌ها وجود دارد. به یاختهٔ عصبی که پیام عصبی را به سیناپس می‌آورد، **یاختهٔ پیش‌همایه‌ای** (*سیناپس*) می‌گویند که همواره یک یاختهٔ عصبی است و به یاخته بعدی که می‌تواند یاختهٔ عصبی، ماهیچه‌ای یا غدد باشد، **یاخته پس‌همایه‌ای** (*سیناپس*) می‌گویند.

مراحل انتقال پیام عصبی در سیناپس

۱) وجود پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی پیش‌همایه‌ای (سیناپسی)

همواره در سیناپس، اگر یاختهٔ عصبی **پیش‌سیناپسی** دارای **پتانسیل عمل** باشد، آن‌گاه می‌تواند پیام عصبی را تا **پایانه آکسونی** خود هدایت کند.

۲) ساخت و ترشح ناقل عصبی

ناقلین عصبی، پیک‌های شیمیایی **کوتاه‌بردی** (*فصل ۴*) هستند که در یاخته‌های عصبی پیش‌سیناپسی ساخته می‌شوند و درون ریزکیسه‌های کوچکی **ذخیره** می‌شوند. وقتی پیام عصبی در طول آکسون حرکت می‌کند، این ریزکیسه‌های دارای ناقل عصبی در طول سیتوپلاسم آکسون **حرکت** کرده تا به انتهای آکسون برسند. پیام عصبی (*پتانسیل عمل*)، در انتهای آکسون با مصرف انرژی زیستی رایج (*ATP*) و اگزوسیتوز (*برون‌رانی*)، ناقلین عصبی را به **فضای سیناپسی** آزاد می‌کند. در این حالت ابتدا غشای ریزکیسه‌ها به غشای یاختهٔ عصبی **پیش‌سیناپسی** متصل می‌شوند و سپس ناقل عصبی وارد فضای همایه‌ای می‌شود (*اگر پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی وجود نداشته باشد، ناقل عصبی در آن تولید و ذخیره می‌شود ولی ریزکیسه حاوی آن در طول آکسون حرکت نمی‌کند و به فضای سیناپسی نیز آزاد نمی‌شود*).

۳) اتصال ناقل عصبی به گیرنده غشایی یاخته پس‌سیناپسی

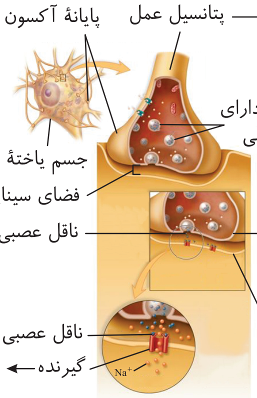
در غشای یاخته پس‌سیناپسی، **پروتئین‌های گیرنده‌ای** وجود دارند که از نوع پروتئین‌های **سراسری کانالی** می‌باشند. ناقلین عصبی وارد یاخته پس‌سیناپسی نمی‌شوند بلکه به **سطح خارجی گیرنده غشایی** آن‌ها متصل می‌شوند و در صورت تحریکی بودن، سبب باز شدن کانال‌های دریچه‌دار **سدیمی** این گیرنده‌ها می‌شوند. در پی این عمل با ورود سدیم، پتانسیل عمل در یاختهٔ بعدی ایجاد می‌شود.

۴) تحریک یا مهار کردن یاخته پس‌سیناپسی

اگر ناقل عصبی از نوع **تحریک‌کننده** بود، سبب **ایجاد پتانسیل عمل** و پیام الکتریکی در یاخته پس‌سیناپسی با **باز** کردن کانال‌های دریچه‌دار **سدیمی** می‌شود که به آن **سیناپس تحریکی** می‌گویند ولی اگر سیناپس از نوع **مهارکننده بود**، برخورد ناقل عصبی به **یاختهٔ عصبی** پس‌سیناپسی سبب **تغییر پتانسیل الکتریکی** آن یاخته در جهت **به آرامش رسیدن** یاختهٔ عصبی پس‌سیناپسی می‌شود و از فعالیت آن یاختهٔ عصبی جلوگیری می‌کند. (*در حقیقت ناقل عصبی از هر نوعی، سبب تغییر در پتانسیل الکتریکی یاخته پس‌سیناپسی می‌شود.*)

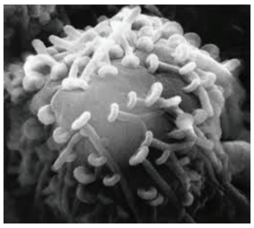
مسیر پیام عصبی در یاختهٔ پیش‌سیناپسی ← برون‌رانی ناقل عصبی در انتهای آکسون یاختهٔ پیش‌سیناپسی ← ناقل عصبی

- مهارکننده ← ایجاد آرامش در یاختهٔ عصبی بعدی می‌شود.
- تحریک‌کننده
  - سبب باز شدن کانال سدیمی در یاخته پس‌سیناپسی می‌شود.
  - ایجاد پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی بعدی می‌شود.
  - ایجاد حالت انقباض در ماهیچه می‌شود.
  - سبب ترشح توسط غدد می‌شود.



نکته: اگر سیناپس بین آکسون و جسم یاخته‌ای رخ دهد، در نورون پس‌سیناپسی، هدایت پیام از دندریت به جسم یاخته‌ای صورت نمی‌گیرد.

«آزاد شدن ناقل عصبی و اثر آن بر یاختهٔ پس‌سیناپسی»



«تصویر سیناپس با میکروسکوپ الکترونی»

نکته در هر دو نوع سیناپس تحریک‌کننده یا مهارکننده، **ناقل عصبی از یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی** ترشح می‌شود و ناقل عصبی همواره سبب **تغییر** فعالیت **الکتریکی** یاخته پس‌سیناپسی می‌شود.

نکته اگر در یاخته پیش‌سیناپسی پتانسیل عمل ایجاد نشود، از انتهای آکسون آن ناقل عصبی آزاد نمی‌شود. در این حالت به آن سیناپس غیرفعال یا بدون ناقل می‌گویند. (*نمونهٔ آن را در انعکاس‌های حرکت دست بررسی می‌کنیم.*)

نکته دقت کنید که ناقل عصبی مهارکننده یا بازدارنده فقط در سیناپس بین **دو یاختهٔ عصبی** ترشح می‌شود. یعنی در سیناپس بین یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی با غدد یا ماهیچه **فقط** ناقل **تحریک‌کننده** برای ترشح مواد یا انقباض ماهیچه وجود دارد.

۵) مراحل پس از پایان انتقال پیام عصبی

تا هنگامی که ناقل عصبی در فضای سیناپسی وجود داشته باشد برحسب اینکه تحریکی یا مهاری باشد، در حال اثر بر یاخته پس‌سیناپسی می‌باشد. در بیشتر موارد، انتقال **بیش از حد** پیام عصبی نتایج ناگواری به بار می‌آورد. به همین دلیل **پس از انتقال پیام عصبی** انجام فعالیت لازم، مولکول‌های ناقل باقی‌مانده **باید از فضای سیناپسی تخلیه شوند** که این کار یا با آندوسیتوز (*درون‌بری*) و جذب دوباره ناقل عصبی (*آندوسیتوز*) به یاخته **پیش‌سیناپسی** صورت می‌گیرد یا **ناقلین عصبی توسط آنزیم‌هایی برون‌یاخته‌ای در فضای سیناپسی تجزیه می‌شوند.**

نکته اگر ناقل عصبی از محل فضای سیناپسی تخلیه نشود، انتقال بیش از حد پیام عصبی رخ داده و امکان انتقال پیام‌های **جدید** در محل سیناپس داده نمی‌شود.

نکته تغییر در میزان **طبیعی** ناقل‌های عصبی سبب بیماری‌ها یا اختلال در کار دستگاه عصبی می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به پارکینسون و آلزایمر اشاره کرد (*بیشتر بدانید*).

نکته پروتئین گیرندهٔ ناقل عصبی تحریکی در غشای یاختهٔ پس‌سیناپسی، هم نقش گیرندهٔ پیک شیمیایی و هم نقش کانال دریچه‌دار سدیمی برای ایجاد پتانسیل عمل را دارد ولی در عبور پتاسیم نقشی ندارد.

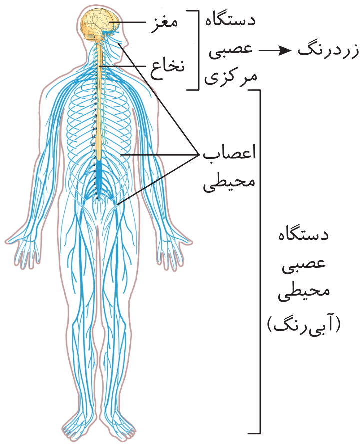
نکته هر ناقل عصبی در سیناپس یاختهٔ عصبی به ماهیچه

- **۱)** توسط یاختهٔ عصبی تولید شده و سپس جذب دوباره یا تجزیه می‌شود.
- **۲)** می‌تواند سبب باز شدن کانال دریچه‌دار سدیمی ماهیچه‌ها شود.
- **۳)** در طول آکسون پیش‌سیناپسی حرکت می‌کند.

درسنامه

گفتار ۲ ساختار دستگاه عصبی

دســتگاه عصبی **انسـان** دارای دو بخش مرکزی و محیطی می‌باشـد که اجزای آن را به صورت کلـی در شـکل روبـه‌رو و نمـودار زیـر مشـاهده می‌کنید. بخـش زردرنگ اعصـاب مرکزی و بخش‌های آبی مربوط به تارهای محیطی می‌باشند.



«دستگاه عصبی مرکزی و محیطی»

- دستگاه عصبی
  - مرکزی
    - مغز
      - سه بخش اصلی
        - مخ و نیمکره‌های آن ← بزرگ‌ترین قسمت مغز
        - مخچه
        - ساقهٔ مغز
          - کوچک‌ترین قسمت اصلی مغز است.
          - مغز میانی و برجستگی چهارگانه آن
          - پل مغزی
          - بصل‌النخاع ← پایین‌ترین بخش مغز در جمجمه می‌باشد.
      - بخش‌های دیگر مغز (بالای ساقهٔ مغز)
        - تالاموس‌ها
        - هیپوتالاموس
        - سامانهٔ کناره‌ای (لیمبیک) ← لوب بویایی به جلوی آن متصل است (اما بخشی از آن نیست).
    - نخاع ← از بصل‌النخاع تا مهره دوم کمر ادامه دارد.
  - محیطی
    - ۱۲ جفت عصب متصل به مغز دارد
      - عصب حسی
      - عصب حرکتی
      - عصب مختلط (دارای هر دو نوع تار عصبی)
    - ۳۱ جفت عصب نخاعی مختلط دارد.
    - دو بخش دارد
      - بخش حسی دارد (حس ویژه و حس پیکری دارد)(فصل ۲) ← پیام را به بخش مرکزی می‌آورد.
      - بخش حرکتی دارد
        - پیکری
          - **فقط** با ماهیچهٔ اسکلتی در ارتباط است.
          - اغلب ارادی است.
          - برخی مسئول انعکاس غیر ارادی است.
        - خودمختار ← ۱۰۰٪ غیر ارادی
          - سمپاتیک (هم‌حس)
          - پاراسمپاتیک (پادهم‌حس)
          - با ماهیچهٔ صاف و قلبی در ارتباط است.
          - با غدد در ارتباط است.

دستگاه عصبی مرکزی

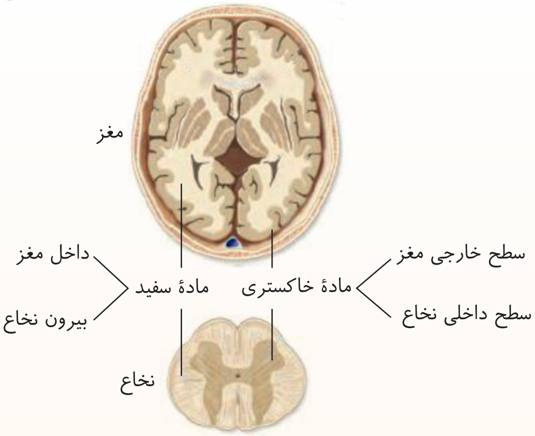
این بخش شامل **مغز و نخاع** می‌باشد که **مراکز نظارت بر فعالیت‌های بدن** می‌باشند. این دستگاه، اطلاعات حسی دریافتی از **محیط و درون بدن** را می‌گیرد و آن را **تفسیر** می‌کند و سپس به آن‌ها پاسخ مناسب می‌دهد.

بخش‌های **ساختاری** دستگاه عصبی مرکزی:
- **بخش خاکستری:** شامل **جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی** و رشته‌های عصبی **بدون میلین** مثل یاخته‌های عصبی رابط و دندریت حرکتی درون آن می‌باشند.
- **بخش سفید:** اجتماع **دندریت‌ها و آکسون‌های** میلین‌دار با سرعت زیاد هدایت پیام عصبی می‌باشند.

نکته در بخش سفید دستگاه عصبی مرکزی، جسم یاخته‌ای وجود ندارد.

نکته با توجه به شکل متوجه می‌شوید که در قسمت‌های مختلف **مخ و مخچه** مادهٔ خاکستری در بخش **خارجی** و مادهٔ سفید در بخش **درونی** می‌باشد ولی در نخاع بخش سفید در قسمت خارجی و بخش خاکستری به شکل پروانه یا حرف H یا X در بخش داخلی می‌باشد.

نکته با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در مغز، علاوه بر قشر خاکستری چین‌خورده، تعدادی اجسام و هسته‌های خاکستری نیز در مادهٔ سفید به صورت پراکنده وجود دارد.



«برش عرضی مغز و نخاع»

محافظ‌های ویژه دستگاه عصبی مرکزی

استخوان‌ها، پرده‌های مننژ، سد خونی - مغزی و **خونی - نخاعی**، سه عامل محافظت‌کننده مغز و نخاع می‌باشد که در ادامه به بررسی ساختار و عملکرد آن‌ها می‌پردازیم.

الف) استخوان‌های محافظ

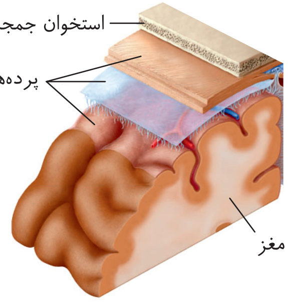
مغز توسط استخوان‌های **پهن جمجمه** با لبه دندانه‌دار که با مفصل **ثابت** به هم متصل شده‌اند و نخاع با استخوان‌های **نامنظم** ستون مهره‌ها محافظت می‌شوند.

«جمجمه و ستون مهره»

نکته استخوان که حاوی بافت **پیوندی** است **نخستین** و خارجی‌ترین عامل محافظ از دستگاه عصبی مرکزی می‌باشد.

ب) پرده‌های مننژ

پرده‌های مننژ به صورت **سه لایه پیوندی** از **مغز و نخاع** محافظت می‌کنند. این پرده‌ها به ترتیب از **خارج به داخل** سه لایهٔ متصل به استخوان، لایهٔ میانی و لایهٔ متصل به اعصاب مرکزی دارند. **فضای بین پرده‌ها** را مایعی به نام **مایع مغزی - نخاعی** پر می‌کند که مانند یک ضربه‌گیر، از دستگاه عصبی **مرکزی** در مقابل ضربه محافظت می‌کند.



«پرده‌های مننژ»

نکته خارجی‌ترین لایهٔ مننژ از سایر لایه‌ها **قطورتر** است و بدون نفوذ در چین‌خوردگی کوچک مغزی می‌باشد. این لایه از خارج به استخوان متصل است و از داخل در تماس با مایع مغزی – نخاعی می‌باشد.

نکته لایه داخلی مننژ برخلاف لایه خارجی و میانی همراه با چین‌خوردگی‌های مخ چین می‌خورد و صاف نمی‌باشد (*البته اگر می‌خواهید بیشتر بدانید، باید بگم که هر سه لایهٔ مننژ در شیار عمیق بین دو نیمکره وارد می‌شوند ولی در شیارها و چین‌های هر نیمکره، فقط لایهٔ داخلی وارد شده و چین می‌خورد*).

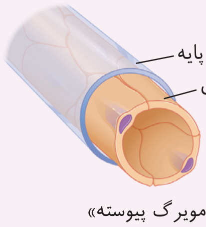
نکته با توجه به شکل می‌توان متوجه شد که لایه داخلی مننژ حاوی رگ‌های خونی می‌باشد.

نکته با توجه به شکل می‌توان دریافت که لایه میانی مننژ در سمت داخلی خود رشته‌های ریز شبیه تار عنکبوت دارد.

ج) سد خونی - مغزی و خونی - نخاعی

مویرگ‌های موجود در دستگاه عصبی **مرکزی** یک لایه بافت پوششی از نوع پیوسته و **بدون منفذ** دارند. (درکتاب دهم عنوان شده که *ممکن* است هیچ منفذی نداشته باشند!!) این مویرگ‌ها با یاخته‌های به هم چسبیده می‌توانند ورود و خروج مواد را به شدت تنظیم کنند و در **شرایط طبیعی بسیاری از مواد و میکروب‌ها** نمی‌توانند به دستگاه عصبی مرکزی وارد شوند. این عامل مویرگی با بافت پوششی را **سد خونی - مغزی** و **خونی - نخاعی** می‌گویند که البته مولکول‌هایی مثل O_2 برای تنفس یاخته‌ای و گلوکز و آمینواسید برای تغذیه بافت عصبی و **برخی** داروها از این سد عبور کرده و CO_2 حاصل از متابولیسم نیز از آن خارج می‌شود. (این مویرگ‌ها در لایه داخلی منثر نیز وجود دارند.)

یادآوری: مویرگ‌های پیوسته دستگاه عصبی مرکزی غشای پایه کاملی دارند و بین یاخته‌های آن‌ها منافذ فراوان و حفره‌های بین‌یاخته‌ای وجود ندارد.

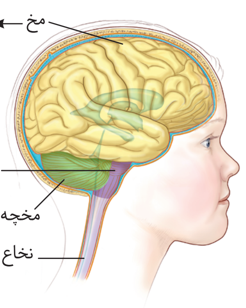


«مویرگ پیوسته»

بررسی قسمت‌های مختلف دستگاه عصبی مرکزی

بررسی مغز

مغز درون جمجمه قرار دارد و از سه بخش **اصلی** **مخ، مخچه و ساقهٔ مغز** تشکیل شده است که در ادامه هرکدام را بررسی می‌کنیم.



«سه بخش اصلی مغز»

نکته در تست‌ها به کلمهٔ بخش **اصلی** مغز دقت کنید چون مناطقی مثل تالاموس‌ها، هیپوتالاموس و لیمبیک یا هیپوکامپ از مناطق مغزی هستند ولی جزء بخش اصلی مغز طبقه‌بندی نمی‌شوند.

نکته **از نظر اندازه:** مخ > مخچه > ساقهٔ مغز

A) نکات نیمکره‌های مخ

۱) در انسان، مخ **بیشترین** حجم مغز را تشکیل داده است که دو نیمکرهٔ چپ و راست دارد. این دو نیمکره توسط **یک** شیار **عمیق** از هم جدا شده‌اند.

۲) دو نیمکرهٔ مخ توسط **رابط‌های سفید رنگی** از رشته‌های عصبی **میلین‌دار** به نام رابط پینه‌ای و سه‌گوش (*مثلث مغزی*) به هم متصل هستند.

۳) دو نیمکره به‌طور **هم‌زمان**، از **همه جای بدن**، اطلاعات را دریافت می‌کنند و پس از **پردازش نهایی** آن‌ها سبب **هماهنگی** در فعالیت‌های **بخش‌های مختلف بدن** می‌شوند.

۴) هر نیمکره کارهای **اختصاصی** نیز دارد. **بخش‌هایی** از نیمکرهٔ چپ به توانایی در **ریاضیات** و استدلال مربوطند و نیمکرهٔ راست برای مهارت‌های **هنری** تخصص یافته است.

۵) بخش خارجی نیمکره‌های مخ، قشر خاکستری **نازک** چند میلی‌متری با **سطحی وسیع** دارد که **چین خورده** و دارای **شیارها و شکنج‌های متعددی** می‌باشد.

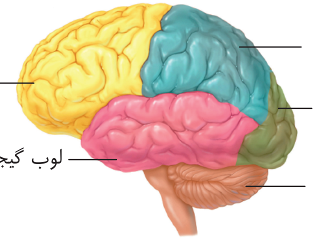
۶) قشر مخ، از جسم یاخته‌ای، رشته‌های بدون میلین و یاخته‌های عصبی رابط تشکیل شده است، ولی قسمت داخل مخ، مادهٔ سفید با رشته‌های عصبی میلین‌دار می‌باشد.

۷) در **قشر مخ** بخش‌ها و یاخته‌های عصبی **حسی، حرکتی و ارتباطی** وجود دارد که بخش‌های ارتباطی، نقش ارتباط بین بخش‌های حسی و حرکتی را دارند.

۸) **قشر مخ** جایگاه **پردازش نهایی** اطلاعات ورودی به **مغز** است که در اثر این پردازش، فعالیت‌های **یادگیری**، **تفکر** و عملکرد هوشمندانه ارادی شکل می‌گیرد.

۹) هر نیمکرهٔ مخ دارای **چهار** لوب پیشانی، آهیانه، گیجگاهی و پس‌سری می‌باشد.

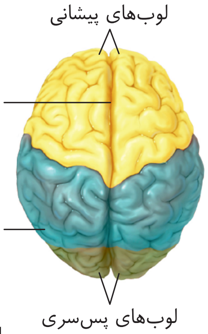
۱۰) در هر نیمکره، لوب **پیشانی** بزرگ‌ترین لوب مغزی است که به **دو** لوب آهیانه و گیجگاهی متصل می‌باشد. لوب پس‌سری مخ که مرکز پردازش **بینایی** است از جلو به دو لوب مغزی آهیانه و گیجگاهی متصل است و از پایین به مخچه متصل می‌باشد. لوب‌های آهیانه و گیجگاهی به **سه** لوب دیگر مخ متصلند.
(*مخچه نیز از بالا به دو لوب مغزی پس‌سری و گیجگاهی هر نیمکره متصل است.*)



«لوب‌های مخ از نیمرخ» ← در این نما، چهار لوب هر نیمکرهٔ مخ به همراه مخچه دیده می‌شود.

۱۱) شیارهای **عمیق** مخ دو نوع می‌باشند. **یکی** بین دو نیمکرهٔ مخ بوده و سبب جدایی دو نیمکره می‌شود. تعدادی نیز در هر نیمکره وجود دارد که سبب ایجاد چهار لوب مختلف در هر نیمکره می‌شود.

۱۲) در تست‌ها دقت کنید که در مخ، فقط **قشر خاکستری** آن سه بخش حسی، حرکتی و رابط دارد و فقط قشر مخ جایگاه پردازش نهایی اطلاعات ورودی به مغز می‌باشد که نتیجهٔ این عمل، فرایندهای یادگیری، تفکر و اعمال هوشمندانه می‌باشد.



«لوب‌های مخ از بالا»
- از این نما، فقط می‌توانیم پیشانی، آهیانه و پس‌سری به همراه شیار اصلی بین دو نیمکرهٔ مخ را ببینیم.
- در این نما، لوب گیجگاهی مخ و مخچه دیده نمی‌شود.

۱۳) بخش‌های مختلف قشر مخ
- **بخش حسی:** پیام اندام‌های حسی مثل چشم، گوش، بینی و... را دریافت می‌کند.
- **بخش حرکتی:** پیام حرکتی را توسط یاخته‌های عصبی حرکتی به ماهیچه‌ها و غدد می‌فرستد.
- **بخش ارتباطی:** این بخش‌ها بین بخش‌های **حسی و حرکتی** ارتباط برقرار می‌کنند و یاخته‌های عصبی رابط زیادی دارند.

B) قسمت‌ها و نکات ساقهٔ مغز

این بخش مغز که در **جلوی مخچه** قرار گرفته است از بالا به پایین شامل سه قسمت مغز میانی، پل مغزی و بصل‌النخاع می‌شود. ساقهٔ مغز از بالا به مخ، از پایین به نخاع و از پشت به مخچه متصل است. این بخش، در بین بخش‌های **اصلی** مغز، **کوچک‌ترین** حجم را دارد.

وظایف بخش‌های مختلف ساقهٔ مغز

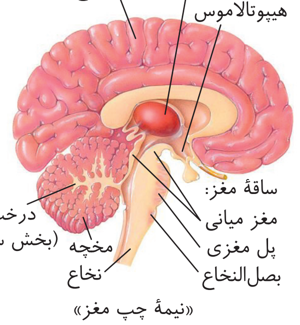
۱) **مغز میانی:** در **بالای پل مغزی** و زیر تالاموس و اپی‌فیز قرار دارد. قسمتی به نام **برجستگی‌های چهارگانه** در تماس با اپی‌فیز دارد. **یاخته‌های عصبی** مغز میانی در فعالیت‌های مختلف **شنوایی**، **بینایی** و **حرکت** نقش دارند. کار این یاخته‌های عصبی **در ارتباط با هم می‌باشد** به همین دلیل با شنیدن صدا می‌توانیم چشم‌ها و سر خود را به سمت منبع صدا برگردانیم.

۲) **پل مغزی:** مرکزی در زیر مغز میانی و بالای بصل‌النخاع است که در تنظیم فعالیت‌هایی مثل **ترشح بزاق**، **اشک** و **تنفس** نقش دارد. پل مغزی نوعی مرکز تنفسی نیز می‌باشد که با اثر بر **مرکز اصلی تنفس یعنی بصل‌النخاع**، سبب **خاتمه عمل دم** و به **استراحت** رفتن **دیافراگم و ماهیچه‌های بالا برنده قفسه سینه** می‌شوند. این مرکز تنفسی در پل مغزی می‌تواند **مدت زمان دم را تنظیم کند** و به همراه بصل‌النخاع در تنظیم فعالیت اعصاب خودمختار روی **فعالیت قلب** نیز مؤثر باشد (*فصل ۳ و ۴ زیست‌شناسی دهم*).

نکته: پل مغز، هورمونی تولید نمی‌کند ولی در دفاع از چشم (*اشک*)، گوارش نشاسته و ضد عفونی کردن دهان و کمک به بلع (*با تنظیم ترشح بزاق*) نقش دارد.

۳) **بصل‌النخاع:** پایین‌ترین قسمت مغز در جمجمه می‌باشد که در بالای نخاع قرار دارد. بصل‌النخاع فعالیت‌های حیاتی مثل **تنفس، فشار خون و ضربان قلب** را تنظیم می‌کند و مرکز **انعکاس‌هایی** مثل **عطسه، سرفه و بلع** می‌باشد.

نکته: بصل‌النخاع نیز هورمون‌سازی نمی‌کند ولی مرکز **اصلی** تنفس و ارسال پیام برای شروع فعالیت‌های تنفسی می‌باشد (*این مرکز تحت کنترل ماهیچه‌های ناپژه و نایژک‌های درون شش، در توقف فوری دم عمیق نیز نقش دارد*).



«نیمهٔ چپ مغز»

یادآوری

نکات بصل‌النخاع (مرتبط با زیست دهم)

الف) هنگام بلع و عبور غذا از حلق، مرکز انعکاس بلع در بصل‌النخاع که فعالیتی غیر ارادی دارد، سبب مهار فعالیت **مرکز تنفسی بصل‌النخاع** شده و راه نای را می‌بندد تا تنفس برای **زمانی کوتاه** متوقف شود.

بلع غذا ← عبور غذا از حلق ← تحریک مرکز انعکاس بلع در بصل‌النخاع ← مهار فعالیت تنفسی بصل‌النخاع ← بسته شدن راه نای با پایین آمدن اپی‌گلوت ← توقف تنفس برای زمان کوتاه

ب) بصل‌النخاع در انعکاس‌های سرفه و عطسه به ترتیب سبب خروج هوا از دهان (*سرفه*) یا بینی و دهان (*عطسه*) می‌شود.

ج) مرکز **اصلی تنفس** برای صدور **پیام‌های حرکتی** به ماهیچه‌های **دمی**، در بصل‌النخاع قرار دارد. در حقیقت بصل‌النخاع سبب شروع دم ولی پل مغزی با اثر بر بصل‌النخاع سبب خاتمه و مدت زمان دم می‌شود.

بصل‌النخاع ← دستور حرکتی شروع دم به دیافراگم و بین‌دنده‌ای خارجی می‌دهد ← عمل دم عادی ← تحریک پل مغز ← به بصل‌النخاع پیام می‌دهد که با عدم ارسال پیام حرکتی، دم را خاتمه دهد

د) مرکز هماهنگی اعصاب خودمختار سمپاتیک (*هم‌حس*) و پاراسمپاتیک (*پادهم‌حس*) مؤثر در تنظیم فعالیت‌های قلب **در بصل‌النخاع و پل مغزی** و در نزدیکی مرکز تنفسی می‌باشد تا با تنظیم فعالیت‌های گوارشی، تنفسی و گردش خون مواد مغذی و اکسیژن را در شرایط خاص برای خون تأمین کنند (*سمپاتیک سبب افزایش قدرت انقباضی بطن‌ها و حجم ضربه‌ای قلب می‌شود ولی پاراسمپاتیک سبب کاهش فعالیت گره‌های قلبی و تعداد ضربان‌های قلبی می‌شود*).

● C) مخچه

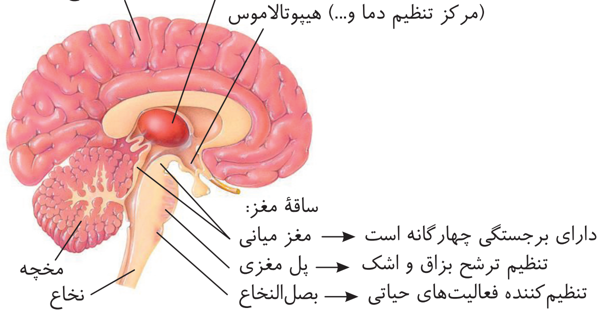
قسمتی در **پشت ساقهٔ مغز** و زیر بخش پسین مخ می‌باشد که بیرون آن خاکستری و داخل آن سفید میلین‌دار می‌باشد. مخچه دارای دو نیمکره با **رابطی** به نام کرمینه در بخش پشتی مغز می‌باشد. این مرکز **به‌طور پیوسته** از بخش‌های دیگر **مغز و نخاع** و اندام‌های حسی (*مثل چشم، گوش، زردپی‌ها، کپسول مفصلی و...*) پیام دریافت می‌کند و پس از بررسی آن‌ها سبب هماهنگی فعالیت‌های ماهیچه‌ای و حرکات بدن در **حالت‌های گوناگون** و البته به کمک نخاع و سایر بخش‌های مغز می‌شود.

نکته مخچه از بالا به لوب‌های پس‌سری و گیجگاهی از هر دو نیمکرهٔ مخ متصل می‌باشد.

نکته مخچه مرکز تنظیم وضعیت بدن و تعادل آن است و با بخش دهلیزی (*نیم‌دایره*) گوش داخلی در ارتباط می‌باشد. از طرفی در فصل بعد می‌خوانیم که مخچه از گیرنده‌های **وضعیتی** از حس پیکری که در ماهیچهٔ اسکلتی، زردپی‌ها و کپسول مفصلی وجود دارند، پیام دریافت می‌کند.

ساختارهای دیگر و غیراصلی مغزی (ساختارهایی به‌جز مخ، مخچه و ساقهٔ مغز)

در بالای ساقهٔ مغز ساختارهای دیگر مغزی مثل تالاموس‌ها، هیپوتالاموس و سامانهٔ لیمبیک وجود دارند که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.



«نیمهٔ چپ مغز»

● تالاموس‌ها

دو مرکز در زیر رابط پینه‌ای است که با یک رابط نیز به هم متصل هستند. تالاموس‌ها محل **پردازش اولیه** و **تقویت اغلب** پیام‌های **حسی** بدن می‌باشند. **اغلب** پیام‌های حسی بدن ابتدا وارد **تالاموس** می‌شوند و **پردازش اولیه** پیدا می‌کنند و پس از تقویت شدن به سمت بخش‌هایی از **قشر مخ** برای **پردازش نهایی** یا درک کامل فرستاده می‌شوند.

نکته اشکال در تالاموس‌ها، پردازش **اغلب** پیام‌های حسی را دچار اختلال می‌کند (*پیام بویایی به تالاموس‌ها ارسال نمی‌شود*).

هیپوتالاموس

مرکزی در **زیر تالاموس‌ها** می‌باشد که وظیفهٔ تولید هورمون‌های **آزاد و مهارکننده** و چند هورمون دیگر (*ضد ادراری و اکسی‌توسین*) را بر عهده دارد. این مرکز سبب مرتبط کردن **دستگاه‌های عصبی و هورمونی** و حفظ هومئوستازی یا هم‌ایستایی بدن می‌شود و می‌تواند سبب تنظیم دمای بدن، تعداد ضربان قلب، فشار خون، خواب، گرسنگی و تشنگی شود.

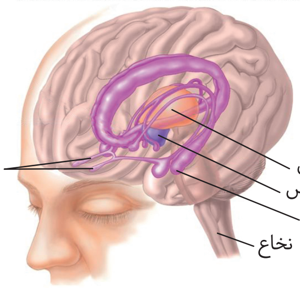
نکته: هیپوتالاموس، مرکزی دارای **گیرنده‌های اسمزی** می‌باشد که به غلظت بالای پلاسما (*خوناب*) حساسند. وقتی این گیرنده‌ها تحریک می‌شوند **مرکز تشنگی** واقع در **هیپوتالاموس** فعال شده و با تولید هورمون ضد ادراری (ADH) سبب ترشح بیشتر این هورمون از هیپوفیز پسین به خون می‌شوند تا بازجذب آب را در کلیه افزایش دهند و فشار اسمزی خون تنظیم شود.

نکته: بصل‌النخاع و هیپوتالاموس، دو مرکز مغزی هستند که به کمک برخی هورمون‌ها در تنظیم **تعداد ضربان قلب** و **فشار** خون مؤثرند و کار مشترک آن‌ها می‌باشد.

سامانهٔ کناره‌ای (لیمبیک)

سامانه‌ای شامل هیپوکامپ (*اسبک مغز*) و سایر قسمت‌های مغزی است که در اطراف تالاموس‌ها و هیپوتالاموس قرار دارد. از جلو به لوب**های** بویایی متصل می‌باشد. این سامانه، تالاموس‌ها و هیپوتالاموس را به **قشر مخ** متصل می‌کند چون به این مراکز متصل می‌باشد.

نکته: سامانهٔ کناره‌ای در احساساتی مانند ترس، خشم، لذت و نیز حافظه (*به کمک قشر مخ*) نقش دارد.



«سامانهٔ لیمبیک (بخش‌های بنفش رنگ)»

هیپوکامپ (اسبک مغز)

قسمتی از سامانهٔ لیمبیک در زیر تالاموس‌ها و هیپوتالاموس می‌باشد که در **تشکیل حافظه و یادگیری** نقش دارد. این بخش در **ایجاد حافظه کوتاه‌مدت و تبدیل آن به حافظه بلندمدت** نقش دارد. مثلاً اگر شماره تلفنی را می‌شنویم یا می‌خوانیم ممکن است پس از مدت کوتاهی آن را از یاد ببریم ولی اگر آن را بارها تکرار کنیم، هیپوکامپ ابتدا آن را در حافظه کوتاه‌مدت ثبت کرده و سپس به **کمک قشر مخ** سبب حفظ آن شماره در حافظه بلندمدت می‌شود. حال اگر پس از مدتی هیپوکامپ این فرد آسیب ببیند یا با جراحی برداشته شود، آن شماره تلفن قبلی در ذهن فرد ماندگار است و به یاد فرد می‌آید ولی دیگر نمی‌تواند شماره تلفن **جدیدی** را حفظ کند. این افراد حتی نمی‌توانند نام **افراد جدیدی** که اگر هر روز هم آن‌ها را ببینند در حافظه خود **نگه دارند** و حداکثر نام آن‌ها را برای **چند دقیقه** در ذهن می‌توانند نگه دارند ولی نام افراد قدیمی که قبل از آسیب هیپوکامپ حفظ بوده‌اند را بدون مشکل به یاد می‌آورند. (*به‌طور خلاصه تبدیل حافظهٔ کوتاه‌مدت به بلندمدت آن‌ها دچار اختلال شده است.*)

نکته: ایجاد حافظهٔ بلندمدت جدید، برای افرادی که هیپوکامپ آن‌ها برداشته می‌شود و یا این مرکز در آن‌ها آسیب دیده است، دچار اختلال می‌شود.

نکته: لوب‌های (*پیازهای*) بویایی به بخش جلویی دستگاه لیمبیک متصلند و در تقویت پیام‌های حسی بویایی نقش دارند. این پیام‌ها ابتدا از گیرنده‌های بویایی به این مرکز می‌آیند و پس از تقویت شدن از راه لیمبیک به قشر مخ می‌رسند (*اسبک مغز یا هیپوکامپ، تماس مستقیم با لوب‌های بویایی ندارد*).

اعتیاد

اعتیاد یک **وابستگی همیشگی** به **مصرف یک ماده** یا **انجام یک رفتار** است که **ترک آن** سبب مشکلات **جسمی و روانی** برای فرد می‌شود. اعتیاد علاوه بر آسیب جسمی و روانی فرد مصرف‌کننده می‌تواند سلامت خانواده و دیگر افراد اجتماع آن فرد را نیز در معرض خطر قرار دهد و مشکلاتی مثل ناامنی اجتماعی، خشونت، دزدی، قتل و سایر مواردی را ایجاد کند که همگی در اثر اعتیاد ایجاد شده‌اند.

نکته: در حال حاضر اعتیاد به **اینترنت** و بازی‌های رایانه‌ای نیز یک اعتیاد **رفتاری** شایع در دنیا می‌باشد که سلامت خانواده‌ها و افراد دیگر را به خطر انداخته است.

نکاتی در مورد رابطه مواد اعتیادآور و مغز

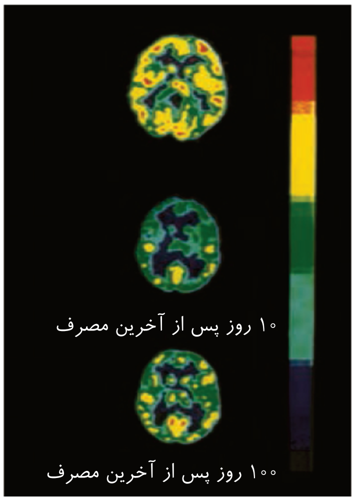
۱) در **اغلب** افراد، **نخستین تصمیم** برای مصرف مواد اعتیادآور به صورت **اختیاری** بوده است.

۲) استفاده **مکرر** از مواد اعتیادآور سبب **تغییراتی در مغز فرد** می‌شود که میل شدیدی برای مصرف دوباره آن ماده ایجاد می‌کند و فرد دیگر نمی‌تواند با این میل شدید مقابله کند. (*موادی مثل الکل، کوکائین، نیکوتین، هروئین، مورفین و حتی کافئین قهوه اعتیادآور هستند.*)

۳) برخی از تغییرات مغزی ایجاد شده در اثر مصرف مواد اعتیادآور به صورت **دائمی** می‌توانند باشد و به همین دلیل حتی سال‌ها بعد از ترک این ماده نیز بیماری اعتیاد **می‌تواند برگشت‌پذیر** باشد.

۴) مواد اعتیادآور بر **سامانهٔ لیمبیک** فرد اثر کرده و موجب **آزاد** شدن **انواع ناقل عصبی** از جمله ناقل عصبی تحریک‌کننده **دوپامین** می‌شود. دوپامین ماده‌ای است که سبب احساس لذت، شادابی و سرخوشی در فرد می‌شود به همین دلیل فرد تمایل دارد که با مصرف مکرر ماده اعتیادآور این حالت سرخوشی را در بدن دوباره تجربه کند. مدتی که از مصرف مواد اعتیادآور بگذرد، تولید دوپامین در بدن **کاهش** می‌یابد و فرد احساس رخوت، کسالت، بی‌حوصلگی و افسردگی می‌کند و دوباره برای به دست آوردن شادابی به سمت مصرف ماده اعتیادآور می‌رود و به تدریج تولید دوپامین توسط بدن کمتر می‌شود و نیاز بدن به مقدار ماده اعتیادآور برای ایجاد دوپامین در **سامانهٔ لیمبیک** بالاتر می‌رود و فرد مجبور است مقدار بیشتری از آن ماده را مصرف کند در این حالت فرد معتاد شده است.

۵) مواد اعتیادآور علاوه بر لیمبیک می‌توانند بر **بخش‌هایی** از **قشر خاکستری مخ** نیز اثر کنند و توانایی **قضاوت، تصمیم‌گیری** و **خودکنترلی فرد** را کاهش دهد که البته این اثرات به ویژه در **مغز نوجوانان اثرات شدیدتری** دارد زیرا مغز آنان در حال رشد می‌باشد.



«تصویرها مصرف گلوکز را در مغز فرد سالم و فرد مصرف کننده کوکائین نشان می‌دهند. رنگ‌های آبی تیره و روشن مصرف کم و رنگ زرد و قرمز مصرف بالا را نشان می‌دهند توجه کنید بهبود فعالیت مغز به زمان طولانی نیاز دارد، بخش پیشین مغز بهبود کم‌تری را نشان می‌دهد.»

نکته با توجه به شکل مقابل، در اثر اعتیاد به کوکائین، مصرف گلوکز توسط یاخته‌های مغزی کاهش می‌یابد. کوکائین به اغلب قسمت‌های مغز آسیب وارد می‌کند و کمترین میزان بهبود مغز نیز پس از ترک این ماده، در بخش جلویی مغز و لوب‌های پیشانی دیده می‌شود.

نکته مصرف تنباکو سبب می‌شود که نیکوتین و دود آن در سرطان دهان، حنجره و شش‌ها ارتباط مستقیم داشته باشد.

نکات اعتیاد به الکل (اتانول)

۱) **نوشیدنی‌های الکلی** نیز مواد اعتیادآوری هستند. با اینکه این نوشیدنی‌ها انواع مختلفی با درجات الکل **متفاوتی** دارند ولی همهٔ آن‌ها حتی اگر **کمترین** مقدار اتانول را نیز داشته باشند، بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۲) الکل (*اتانول*) به سرعت در دستگاه گوارش (*در دهان و معده*) جذب شده و وارد خون می‌شود و با عبور از غشای یاخته‌های عصبی بر **بخش‌های مختلف مغز** و **فعالیت عصبی** آن اثر اختلالی دارد.

۳) الکل از سد خونی – مغزی عبور می‌کند.

۴) الکل علاوه بر دوپامین بر فعالیت انواعی از ناقل‌های عصبی تحریک‌کننده و بازدارنده تأثیرگذار می‌باشد.

۵) **اثرات کوتاه‌مدت مصرف الکل:** اختلال در گفتار، کند شدن فعالیت مغز، افزایش زمان واکنش به محرک‌های محیطی، کند شدن فعالیت‌های بدنی می‌باشد و با اثر بر مخچه سبب ناهماهنگی حرکات بدن می‌شود.

۶) **اثرات بلندمدت مصرف الکل:** اختلال در میوز در تولید یاختهٔ جنسی مناسب، مشکلات کبدی (*کبد چرب*)، سکته قلبی و انواع سرطان‌ها می‌باشد.

۷) در سال دوازدهم می‌خوانیم که الکل سبب ایجاد رادیکال آزاد اکسیژن شده و در تخریب راکیزه‌های کبدی و ایجاد بافت‌مردگی در کبد نقش دارد.

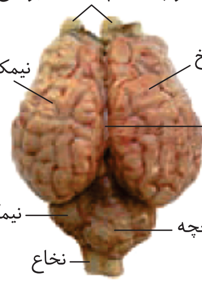
تشریح مغز (گوسفند یا گوساله)

۱) بررسی بخش‌های خارجی مغز

برای بررسی بخش‌های بیرونی مغز باید آن را از سطح پشتی و شکمی آن بررسی کنیم.

الف) مشاهده سطح پشتی مغز

اگر از روی مغز بقایای پرده‌های مننژ را جدا کنیم، می‌توانیم راحت‌تر از سطح **پشتی** آن شیارهای اصلی بین دو نیمکرهٔ آن را مشاهده کنیم. در این سطح می‌توانیم نیمکره‌های مخ و مخچه به همراه کرمینه مخچه را ببینیم و بخش کمی لوب‌های بویایی در قسمت جلویی مغز و کمی نیز نخاع در قسمت عقبی مغز قابل مشاهده است.

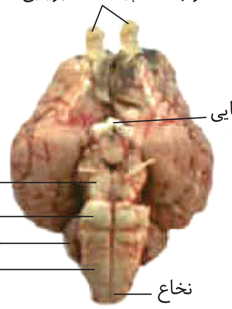


«سطح پشتی مغز»

● **ب) مشاهده سطح شکمی مغز**

اگر مغز را برگردانیم و مننژ باقی‌مانده را به آرامی جدا کنیم، می‌توانیم در سطح شکمی از جلو به عقب مغز به ترتیب، لوب‌های بویایی، کیاسمای بینایی، مغز میانی، پل مغزی، بصل‌النخاع و بخش‌های اطراف مخچه و در ادامه، نخاع را مشاهده کنیم.

◀ اجزای ساقهٔ مغز را می‌توانیم در نمای شکمی مغز مشاهده کنیم.



«سطح شکمی مغز»

۲) مشاهده بخش‌های درونی مغز

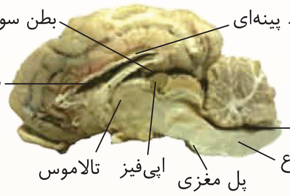
اگر در حالی که سطح **پشتی** مغز روبه‌روی ما قرار دارد، به آرامی دو نیمکرهٔ مخ را کمی از هم جدا کنیم و مننژهای باقی‌مانده را جدا کنیم، یک نوار سفید به نام رابط پینه‌ای که رابط دو نیمکره است را مشاهده می‌کنیم. با جدا کردن رابط پینه‌ای از بخش جلویی، می‌توانیم رابط سه‌گوش ارتباط دهنده دو نیمکره را در زیر رابط پینه‌ای ببینیم.

نکته فضای بطن‌های ۱ و ۲ مغزی در دو طرف دو رابط نیمکره‌ها یعنی در طرفین رابط پینه‌ای و رابط سه‌گوش قرار دارد که داخل این فضا **اجسام مخطط** قرار گرفته‌اند. شبکهٔ مویرگی ترشح‌کننده مایع مغزی - نخاعی نیز به درون بطن‌های ۱ و ۲، مایع مغزی - نخاعی مننژ را ترشح می‌کند.

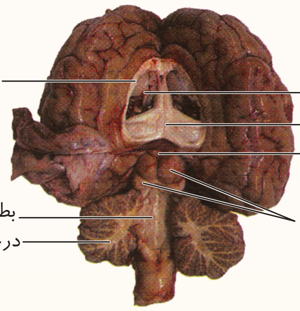
نکته اگر با اسکالپ به صورت برش طولی در رابط سه‌گوش برش ایجاد کنیم، در زیر آن تالاموس‌ها را می‌بینیم که **دو** تالاموس با **یک رابط** به هم متصل هستند و با فشار **کمی** از هم جدا می‌شوند.

نکته بطن سوم مغزی در عقب تالاموس‌ها و غدهٔ اپی‌فیز در لبه **پایین** بطن ۳ قرار دارد. در عقب تالاموس، به ترتیب اپی‌فیز، برجستگی‌های چهارگانه از مغز میانی و سپس پل مغزی و بصل‌النخاع قرار گرفته‌اند (*از جلو به عقب*) ت ا پ بصل‌النخاع).

تالاموس
اپی‌فیز
پل مغزی



نکته اگر کرمینه که رابط بین دو نیمکرهٔ مخچه است را در امتداد شیار دو نیمکره برش دهیم، درخت زندگی که بخ **سفید** درون مخچه است را به همراه بطن چهارم مغزی مشاهده می‌کنیم.



نکته بطن‌های مغزی حاوی مایع مغزی - نخاعی هستند که از طریق بصل‌النخاع از مغز به نخاع می‌رسد.

توجه! در تست‌ها از معادل‌یابی مراکز مختلف مغز انسان، گوسفند و ماهی زیاد سؤال طرح می‌شود و شما نیز سعی کنید بخش‌های مختلف مغز را در این سه جانور معادل‌یابی کنید (*مغز ماهی را در انتهای فصل ۲ می‌خوانید*).

نخاع

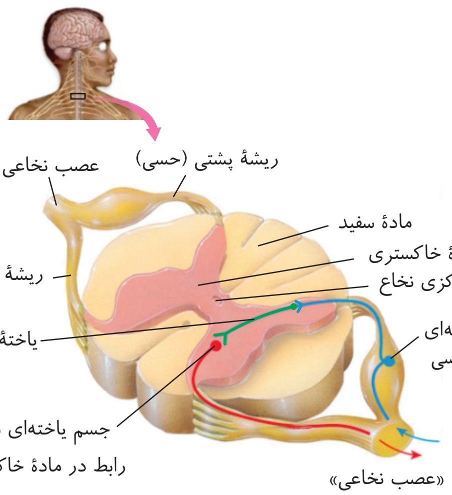
طناب عصبی نخاعی در مهره‌داران به صورت **یک** طناب در **پشت** بدن می‌باشد که **مغز را به دستگاه عصبی محیطی** متصل می‌کند. نخاع همانند مغز جزء دستگاه عصبی مرکزی می‌باشد و توسط استخوان‌ها، مننژ و سد خونی - نخاعی محافظت می‌شود.

نکته نخاع از بصل‌النخاع تا مهره **دوم** کمر در اسکلت محوری ادامه دارد. پس دقت کنید که طول ستون مهره‌ها از طول نخاع بیشتر می‌باشد.

نکته ارتباط مغز و نخاع و مایع مغزی - نخاعی آن‌ها از بصل‌النخاع در پایین‌ترین قسمت مغز صورت می‌گیرد.

اعمال نخاع

۱) نخاع سبب اتصال مغز به دستگاه عصبی **محیطی** می‌شود.
۲) به نخاع **۳۱ جفت** عصب محیطی متصل می‌باشد که هر عصب آن یک ریشهٔ پشتی حسی و یک ریشهٔ شکمی حرکتی دارد. در عصب نخاعی دندریت‌های حسی و آکسون‌های حرکتی درون یک غلاف پیوندی قرار گرفته‌اند.



۳) پیام‌های حسی اغلب اندام‌های بدن از طریق ریشهٔ حسی اعصاب نخاعی به نخاع رسیده و از آنجا به سوی مغز برای پردازش می‌رود.
۴) جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حسی نخاعی در ریشهٔ پشتی خارج نخاع ولی جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حرکتی و یاخته‌های عصبی رابط در مادهٔ خاکستری نخاع واقع می‌باشند.
۵) نخاع، مرکز ارسال پیام‌های حرکتی از مغز به اندام‌ها می‌باشد که ریشهٔ شکمی اعصاب آن مخصوص ارسال این پیام‌ها توسط آکسون‌ها می‌باشد.
۶) نخاع **بدون ارتباط با مغز** مرکز **برخی** انعکاس‌های بدن می‌باشد. انعکاس پاسخ ناگهانی و غیر ارادی ماهیچه‌ها در پاسخ به محرک‌ها می‌باشد.
۷) در وسط مادهٔ خاکستری درون نخاع، یک کانال مرکزی وجود دارد.

دستگاه عصبی محیطی

این دستگاه مسئول ارتباط مغز و نخاع (*دستگاه عصبی مرکزی*) به **بخش‌های دیگر بدن** می‌باشد. در این دستگاه ۴۳ جفت عصب متصل به مغز و نخاع وجود دارد که ۱۲ جفت عصب متصل به مغز و ۳۱ جفت عصب نخاعی سبب ارتباط بین دستگاه عصبی مرکزی به بخش‌های دیگر بدن مثل اندام‌های حس و ماهیچه‌ها می‌شود. این دستگاه دو قسمت **حسی و حرکتی** دارد.

نکته هر عصب مجموعه‌ای از رشته‌های عصبی آکسون یا دندریت می‌باشد که بافت پیوندی دور آن‌ها قرار گرفته است. عصب فاقد جسم یاختهٔ عصبی می‌باشد.

نکته دستگاه عصبی محیطی **برخلاف** قشر مخ فاقد بخش **ارتباطی** می‌باشد.

تعریف عصب

عصب مجموعه‌ای از تارها یا رشته‌های عصبی یا همان قسمت‌های دراز یاخته‌های عصبی می‌باشد که دور همه آن‌ها **یک غلاف پیوندی** قرار گرفته است. درون عصب یا غلاف در برگیرنده آن **جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی** وجود ندارد.

انواع اعصاب

۱) **عصب حسی:** اعصابی هستند که پیام را از اندام‌ها به سمت مراکز عصبی می‌آورند. این اعصاب از آکسون‌ها یا دندریت‌های حسی ایجاد شده‌اند و برخی از اعصاب **مغزی** مثل بینایی، شنوایی و بویایی را شامل می‌شوند.
۲) **عصب حرکتی:** اعصابی هستند که از **آکسون‌های حرکتی** ایجاد شده‌اند و پیام حرکتی را به سمت **ماهیچه‌ها و غدد** می‌برند. برخی از اعصاب مغزی فقط تارهای حرکتی دارند.
۳) **عصب مختلط:** مجموعهٔ **آکسون‌های حرکتی و دندریت‌های حسی** هستند که پیام عصبی را دندریت‌های آن به سمت مراکز عصبی حسی و آکسون‌های آن به سمت اندام‌های عمل کننده می‌برند. **برخی** از اعصاب متصل به **مغز** و **همهٔ ۳۱ جفت عصب متصل به نخاع** از نوع مختلط هستند (*البته نام این اعصاب در کتاب نیامده است ولی داشتن هر دو نوع تار حسی و حرکتی در نخاع بررسی شده است*).

الف) بخش حسی دستگاه عصبی محیطی

این بخش پیام‌های عصبی اندام‌های حس مثل چشم‌ها، گوش‌ها، بینی، زبان، دهان، پوست و... را از راه یاخته‌های عصبی حسی به سمت مغز و نخاع می‌آورد که در فصل بعد به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

ب) بخش حرکتی دستگاه عصبی محیطی

این بخش پیام عصبی حرکتی را از **مغز و نخاع** به سوی اندام‌های عمل‌کننده مثل **ماهیچه‌ها و غدد** می‌برد. بخش حرکتی دستگاه عصبی محیطی خود از دو بخش **مجزا و مستقل پیکری و خودمختار** ایجاد شده است که در ادامه به بررسی اعمال آن‌ها می‌پردازیم.

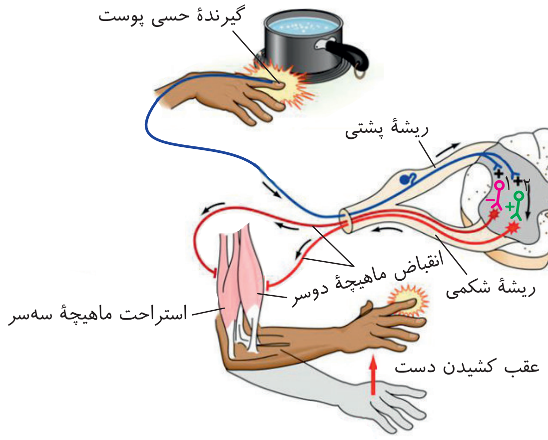
A) بخش حرکتی پیکری دستگاه عصبی محیطی

این بخش مسئول تنظیم و انتقال پیام عصبی به **ماهیچه‌های اسکلتی** *(مخطط)* می‌باشد که بیشتر فعالیت‌های آن به صورت پاسخ ارادی و تحت کنترل قشر مخ می‌باشد ولی مقداری از فرامین مغز و نخاع به‌طور مستقل در تنظیم عمل انعکاس‌ها به صورت پاسخ غیر ارادی ماهیچه اسکلتی می‌باشد.

نکته
مغز پیام حرکتی خود به صورت آگاهانه *(ارادی)* را هم مستقلاً به ماهیچه‌های سر منتقل می‌کند و هم از راه نخاع به سایر بخش‌های بدن مثل اندام‌ها انتقال می‌دهد.

مسیر انعکاس نخاعی در عقب بردن دست

در قسمت بازوی انسان، ماهیچه **دوسر** در بخش **جلویی** قرار دارد که توسط زردپی‌های خود به کتف و زند زبرین متصل است *(فصل ۳)* و ماهیچه سه‌سر عقب بازو نیز به کتف و زند زیرین متصل می‌باشد. وقتی انگشتان با جسمی داغ برخورد کنند، انعکاس **نخاعی** سریعی سبب کشیدن دست به عقب همراه بلند شدن ساعد و نزدیک شدن آن به بازو می‌شود. در این انعکاس، انقباض ماهیچه دوسر بازو سبب جلو و بالا بردن ساعد می‌شود که در این حالت ماهیچه سه‌سر به حالت استراحت درآمده است. به‌طور معمول ماهیچه‌ها به صورت جفت و متقابل عمل می‌کنند در شروع این انقباض نیز باید ماهیچه دوسر منقبض شود و سه‌سر به استراحت دربیاید. هر مسیر این انعکاس دارای تعدادی سیناپس می‌باشد که برخی از آن‌ها تحریکی و برخی مهاری می‌باشند. لازم به یادآوری است که مرکز تنظیم این انعکاس فقط در **نخاع** قرار دارد و مغز در ایجاد این فعالیت نقشی ندارد.



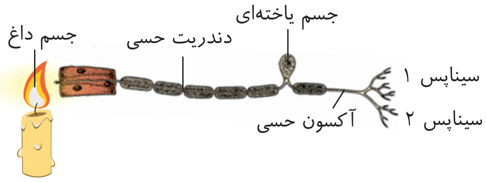
«انعکاس عقب کشیدن دست»

نکته
در اعصاب نخاعی، جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حسی در خارج نخاع و در ریشهٔ پشتی می‌باشد ولی جسم یاخته‌ای یاخته‌های عصبی حرکتی به همراه یاخته‌های عصبی رابط در مادهٔ خاکستری نخاع می‌باشد. دقت کنید که ریشهٔ پشتی و شکمی خارج از نخاع قرار دارند و از اجزای اعصاب محیطی به حساب می‌آیند. هر دو ریشهٔ شکمی و پشتی در هر سمت نخاع، سبب تشکیل یک عصب نخاعی می‌شوند.

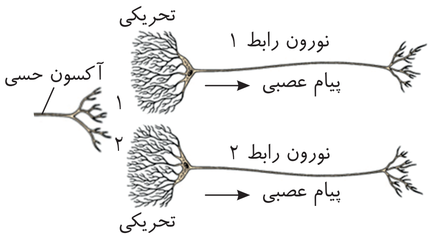
مراحل انعکاس و سیناپس‌های این مسیر در دست

در این قسمت یاخته‌های عصبی و سیناپس‌های **هر مسیر** را بررسی می‌کنیم. دقت داشته باشید که برای این انعکاس تعداد یاخته‌های عصبی و سیناپس‌ها و مسیرهای متعددی ولی به صورت مشابه به صورت زیر وجود دارد.

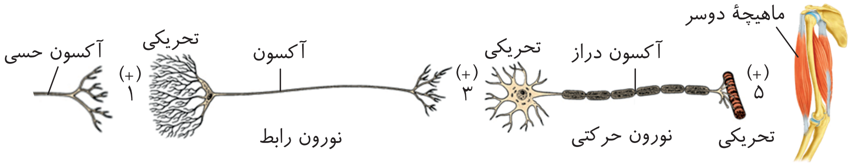
۱) وقتی انگشتان با جسم داغ یا تیزی برخورد می‌کنند، دندریت یاختهٔ عصبی حسی دست فعال شده و در آن پتانسیل عمل ایجاد می‌شود. دندریت دراز این یاخته‌های عصبی از دست تا ریشهٔ پشتی عصب نخاعی ادامه دارد. در ریشهٔ پشتی جسم یاخته‌ای یاختهٔ عصبی حسی در خارج و نزدیک نخاع قرار دارد. آکسون این یاختهٔ عصبی حسی در مادهٔ خاکستری نخاع وارد می‌شود که دوتا پایانه سیناپسی دارد.



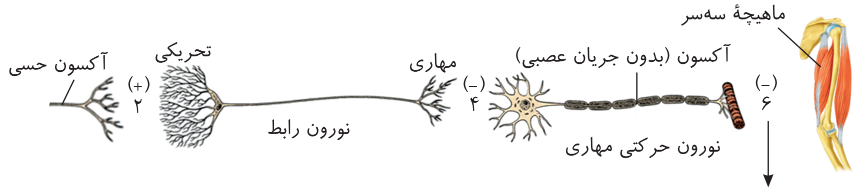
۲) پایانه‌های آکسونی یاختهٔ عصبی حسی در مادهٔ خاکستری نخاع، با آزاد کردن ناقل عصبی دو سیناپس تحریک‌کننده برقرار می‌کنند. این دو سیناپس *(سیناپس ۱ و ۲)* به صورت تحریکی با **دو یاختهٔ عصبی رابط** در مادهٔ خاکستری نخاع برقرار می‌شود و در هر دو یاختهٔ عصبی رابط پتانسیل عمل ایجاد می‌شود.



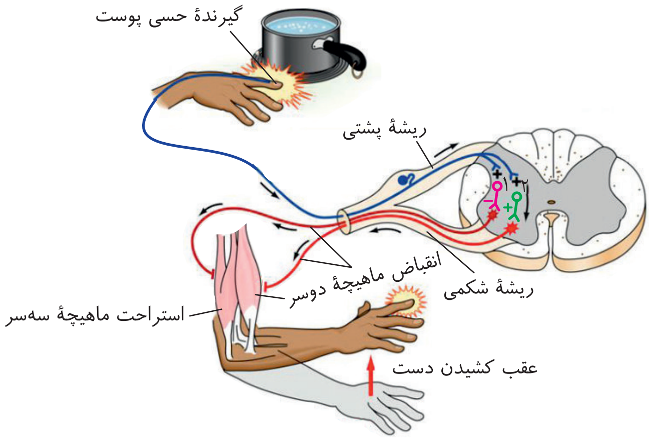
۳) یکی از یاخته‌های عصبی رابط با یاختهٔ عصبی حرکتی مربوط به ماهیچه دوسر جلوی بازو یک سیناپس تحریک (سیناپس ۳) دیگر برقرار می‌کند. با ایجاد پیام عصبی در این یاختهٔ عصبی، ریزکیسهٔ حاوی ناقل عصبی در یاختهٔ عصبی حرکتی از طریق ریشهٔ شکمی همان عصب نخاعی از همان سمت نخاع به سمت ماهیچه دوسـر حرکت می‌کند و از انتهای آکسـون آن به فضای سیناپسـی برون‌رانی می‌شود. در آنجا یک سیناپس تحریکی دیگر (سیناپس ۵) با ماهیچه دوسر برقرار می‌کند و سبب پتانسیل عمل و انقباض این ماهیچه می‌شود تا دست به صورت ناگهانی به سمت بالا بیاید.



۴) در مادهٔ خاکستری نخاع، یاختهٔ عصبی رابط دیگری وجود دارد که توسط یاختهٔ عصبی حسی تحریک شده است و در آن پتانسیل عمل وجود دارد. این یاختهٔ عصبی رابط از سمت آکسون خود در مادهٔ خاکستری نخاع یک سیناپس مهاری (سیناپس ۴) با آزاد کردن ناقل عصبی برقرار می‌کند. این ناقل سبب **عدم ایجاد پیام عصبی** یا پتانسیل عمل در یاختهٔ عصبی حرکتی مربوط به عقب بازو (ماهیچه سه‌سر) می‌شود. وقتی در این یاختهٔ عصبی پیام عصبی وجود نداشته باشد از انتهای آن ناقل عصبی ترشح نمی‌شـود. این یاختهٔ عصبی حرکتی در انتهای خود با ماهیچه سه‌سـر بازو یک سیناپس غیرفعال (سیناپس ٦) **بدون** آزاد کردن ناقل عصبی برقرار می‌کند. در این حالت درون ماهیچه سه‌سر بازو (پشت بازو) پتانسیل عمل و جریان الکتریکی جدیدی ایجاد نمی‌شود و آرامش این ماهیچه سبب راحتی حرکت دست به سمت بالا می‌شود (در حقیقت در فصل ۳ می‌آموزید که با عدم تحریک شدن ماهیچه، پروتئین‌های اکتین و میوزین از هم جدا شده و ماهیچه به استراحت درمی‌آید).



این سیناپس غیرفعال است و بدون توانایی ترشح ناقل عصبی می‌باشد.



«انعکاس عقب کشیدن دست»

نکته در هر مسـیر انعکاس دسـت در کل ۶ سـیناپس وجـود دارد که ۵تای آن همراه آزاد شـدن ناقل عصبی می‌باشـد. (این ۵ تا سیناپس فعال هستند.)

نکته از ۶ سـیناپس ایجاد شـده ۴تای آن در مادهٔ خاکستری نخاع بین یاخته‌هـای عصبـی می‌باشـد و ۲تای آن بیـن یاختهٔ عصبـی حرکتی با ماهیچه‌های دوسر و سه‌سر بازو می‌باشد.

نکته از ۶ سیناپس ایجاد شده در این مسیر ۴تای آن قدرت آزاد کردن ناقل تحریک‌کننده دارد ولی یکی قدرت تولید ناقل عصبی مهارکننده دارد و یکی هم غیرفعال است و اصلاً ناقلی در آن ترشح نمی‌شود.

سیناپس	محل	نوع	ناقل عصبی	یاختهٔ عصبی پیش‌سیناپسی	یاخته پس‌سیناپسی
۱	مادهٔ خاکستری نخاع	تحریک‌کننده	دارد	آکسون حسی	دندریت رابط
۲	مادهٔ خاکستری نخاع	تحریک‌کننده	دارد	آکسون حسی	دندریت رابط
۳	مادهٔ خاکستری نخاع	تحریک‌کننده	دارد	آکسون رابط	دندریت حرکتی جلوی بازو
۴	مادهٔ خاکستری نخاع	مهارکننده	دارد	آکسون رابط	دندریت حرکتی عقب بازو
۵	ماهیچه دوسر	تحریک‌کننده	دارد	آکسون حرکتی	ماهیچه دوسر بازو
۶	ماهیچه سه‌سر	غیرفعال	**ندارد**	آکسون حرکتی	ماهیچه سه‌سر

B) بخش حرکتی خودمختار دستگاه عصبی محیطی

این بخش که ۱۰۰٪ فعالیت‌های آن **غیرارادی** اسـت و **همواره در بدن فعال** می‌باشـد مسـئول **تنظیم ناآگاهانه** (غیرارادی) فعالیت‌های ماهیچه‌های **صاف، ماهیچه قلبی و غدد** می‌باشند که شامل دو بخش سمپاتیک (اعصاب هم‌حس) و پاراسمپاتیک (پادهم‌حس) می‌باشد.

نکته اعصاب سمپاتیک و پاراسمپاتیک برای **تنظیم فعالیت‌های حیاتی بدن** (گردش خون و تنفس) و تنظیم فعالیت‌های گوارشی در شرایط مختلف **معمولاً برخلاف یکدیگر کار** می‌کنند.

نکته اعصاب خودمختار در لولهٔ گوارش با دستگاه عصبی روده‌ای ارتباط دارند و بر عملکرد غدد و لایه‌های ماهیچه‌ای آن‌ها تأثیر می‌گذارند.

نکات اعمال سمپاتیکی (اعصاب هم‌حس)

۱) بدن را به حالت **آماده‌باش** درمی‌آورند و در هنگام هیجان بر اعصاب پاراسمپاتیک غلبه دارند (*مثل هنگام مسابقه،ورزش یا پاسخ دادن به سؤالات در آزمون*).
۲) سبب افزایش فشار خون، ضربان قلب و تعداد تنفس می‌شود.
۳) در نور کم با انقباض ماهیچه‌های شعاعی عنبیه سبب گشاد شدن مردمک می‌شوند (*فصل ۲*).
۴) این اعصاب با گشاد کردن ماهیچه‌های **صاف** سرخرگ‌های غذا دهنده به قلب و ماهیچه اسکلتی سبب خون‌رسانی بهتر به آن‌ها می‌شوند.
۵) سمپاتیک فعالیت دستگاه گوارش را **کاهش** می‌دهد و خون‌رسانی آن‌ها را کم می‌کند. این اعصاب ترشح بزاق و سایر شیره‌های گوارشی را نیز کاهش می‌دهد تا در موقع فعالیت‌های بدنی و هیجانی، خون بیشتر به ماهیچه‌ها و قلب برسد.
۶) اعصاب سمپاتیک در بین یاخته‌های بطنی قلب و گره پیشاهنگ اثر می‌کنند و فعالیت قلب را افزایش می‌دهند که مرکز آن‌ها به همراه پاراسمپاتیک در بصل‌النخاع و پل مغزی و در نزدیکی مرکز تنفسی می‌باشد.
۷) این اعصاب قند خون (*گلوکز*) را به کمک هورمون اپی‌نفرین مرکز فوق کلیه بالا می‌برند تا متابولیسم یاخته‌ها را افزایش دهند (*فصل ۴*).

نکات اعمال پاراسمپاتیکی (پادهم‌حس)

۱) این اعصاب فقط در دستگاه گوارش نقش فعال‌کننده و تحریکی دارند که با اثر بر شبکهٔ عصبی روده‌ای سبب افزایش ترشحات و حرکات دستگاه گوارش می‌شوند.
۲) پاراسمپاتیک باعث برقراری آرامش در بدن می‌شود و خون‌رسانی به ماهیچه‌های اسکلتی و قلب را کاهش می‌دهد.
۳) پاراسمپاتیک سبب کاهش فشار خون و حجم ضربه‌ای قلب می‌شود و با اثر بر گره‌های قلبی تعداد ضربان قلب را کاهش می‌دهد.
۴) این اعصاب با اثر بر ماهیچه حلقوی عنبیه و انقباض آن‌ها، سبب تنگ شدن مردمک در نور **زیاد** می‌شوند (*فصل ۲*).
۵) پاراسمپاتیک گلوکز آزاد شده از کبد را کاهش می‌دهد و همچنین می‌تواند سبب تحریک انقباض مثانه شود.
۶) حرکات تنفسی را کاهش می‌دهد. مرکز هماهنگی فعالیت‌های تنفسی تحت کنترل اعصاب خودمختار در نزدیکی مرکز تنظیم فعالیت‌های گردش خون قرار دارد.

نکات ترکیبی مهم

- اعصاب پیکری و خودمختار، هر دو در فعالیت و حرکات لولهٔ گوارش مؤثرند.
- اعصاب پیکری بر ماهیچه‌های مخطط دهان، حلق و ابتدای مری و بندارهٔ مخرج اثر می‌گذارند.
- اعصاب خودمختار در تنظیم کار غدد در سراسر لولهٔ گوارش از دهان تا روده مؤثرند.
- انقباض ماهیچه‌های صاف از اواسط مری تا راست‌روده بر عهدهٔ اعصاب خودمختار و شبکهٔ عصبی روده‌ای می‌باشد.
- اعصاب پیکری سبب انقباض ماهیچه‌های اسکلتی می‌شوند ولی تنظیم خون‌رسانی به این ماهیچه‌ها، توسط اعصاب خودمختار و با اثر بر ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ سرخرگ‌ها صورت می‌گیرد.

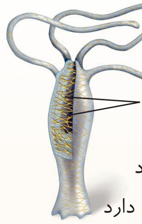
نکات دستگاه عصبی سایر جانوران

۱) شبکهٔ عصبی هیدر

هیدر از مرجانیان با حفرهٔ گوارشی می‌باشد که **ساده‌ترین** ساختار عصبی را به صورت **شبکه عصبی** دارد. در بدن چند لایه‌ای هیدر، شبکهٔ عصبی به صورت **یاخته‌های عصبی پراکنده** در دیواره بدن وجود دارند و با هم در ارتباط هستند ولی هیدر **فاقد مغز، طناب عصبی** و تقسیم‌بندی مرکزی و محیطی می‌باشد. در هیدر جسم‌های یاخته‌ای یاخته‌های عصبی در یک قسمت تراکم پیدا نکرده‌اند و به همین دلیل **گره عصبی** در هیدر وجود ندارد و تحریک **هر نقطه بدن** جانور سبب پخش آن در **همه سطح بدن** آن شده است. در کل بدن هیدر شبکه‌ای از اعصاب، یاخته‌های **ماهیچه‌ای** بدن را تحریک می‌کنند.

نکته

ساختار عصبی هیدر تا حدودی مشابه ساختار دستگاه عصبی روده‌ای لولهٔ گوارش انسان از مری تا مخرج می‌باشد که به صورت شبکه‌ای از یاخته‌های عصبی پراکنده می‌باشد که در هر دو تحریک یاخته‌ها سبب پخش جریان عصبی در کل آن قسمت می‌شود که در هیدر سبب حرکت کل بدن و در دستگاه عصبی روده‌ای سبب حرکت آن قسمت لوله یا پرز روده می‌شود.



«هیدر»

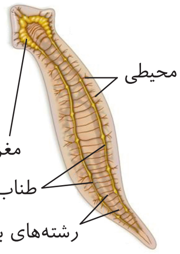
نکات دیگر از هیدر

الف) این جانور ساده دارای **حفره گوارشی** بوده و از مرجان‌ها می‌باشد که حفره یا کیسه گوارشی آن فقط یک سوراخ ورودی و خروجی برای مواد دارد. در دیواره داخلی این کیسه یاخته‌های ترشح‌کننده آنزیم گوارشی وجود دارد ولی گوارش نهایی غذای آن‌ها درون یاخته‌های سطح داخلی صورت می‌گیرد که **برخی** تاژک‌دار می‌باشند (*سیستم گردش مواد و گوارش هیدر یکسان و به صورت حفره گوارشی است*).
ب) تنفس هیدر به صورت انتشار ساده بین یاخته‌ها و محیط انجام می‌شود و سیستم تنفسی ویژه‌ای ندارند.
ج) هیدر آبزی با قدرت دفع آمونیاک می‌باشد.
د) هیدر علاوه بر یاخته‌های تاژک‌دار، حاوی یاخته‌های عصبی و ماهیچه‌ای نیز می‌باشد.

۲) دستگاه عصبی در کرم پهن پلاناریا

این جانور **ساده‌ترین** جانوری است که **دستگاه** عصبی **مرکزی و محیطی** دارد. در دستگاه عصبی مرکزی این جانور **مغز** و **دو طناب عصبی جانبی** به صورت **متصل به هم** وجود دارد. **مغز** پلاناریا در **سر** جانور از **دو گره مجزا** ایجاد شده است که هر گره تعداد زیادی **جسم یاخته‌ای** یاختهٔ عصبی دارد. در هر طرف بدن جانور یک طناب عصبی جانبی به مغز متصل است. یعنی به هر گره یک طناب عصبی متصل است که از جلو به یک گره مغز متصل است و در عقب بدن در مجاور طناب دیگر می‌باشد. در این جانور آزادزی، مغز (گره‌ها)، طناب‌های عصبی و رشته‌های ارتباط دهندهٔ دو طناب، اجزای دستگاه عصبی مرکزی جانور را ایجاد می‌کنند.

در بخش مرکزی دستگاه عصبی جانور، **رشته‌های کوتاه‌تری** نیز بین دو طناب عصبی وجود دارد که سبب ایجاد **ساختار نردبان مانندی** شده‌اند. از هر طناب، رشته‌های جانبی نازکی خارج شده‌اند که به قسمت‌های مختلف بدن پیام می‌دهند. این رشته‌های **نازک**، بخش محیطی دستگاه عصبی جانور را تشکیل می‌دهند.



«پلاناریا»

● نکاتی از پلاناریا

الف) کرم پهنی آزادزی دارای حفرهٔ گوارشی و سیستم گوارشی مشابه حفرهٔ گوارشی هیدر می‌باشد.

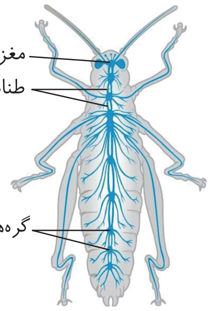
ب) سیستم تنفسی مجزایی ندارند و یاخته‌ها به‌طور مستقیم با محیط تبادل گاز تنفسی می‌کنند.

ج) سیستم گردش مواد آن به صورت حفرهٔ گوارشی مشابه کیسه‌تنان یا مرجان‌ها می‌باشد ولی انشعابات حفرهٔ گوارشی این جانور در تمام نواحی بدن وجود دارد و فاصله انتشار مواد تا یاخته آن‌ها بسیار کوتاه شده است.

د) همانند سایر کرم‌های پهن، حرکت کندی دارد و هم بیضه، هم تخمدان و هم رحم داشته و قدرت تولیدمثل جنسی با خودباروری دارد.

۳) دستگاه عصبی حشرات

این گروه در اعصاب مرکزی خود **یک مغز از جوش خوردن چند گره** دارند و دارای **یک طناب عصبی شکمی** در طول بدن می‌باشند که در **هر بند** یا قطعه از بدن آن‌ها **یک گره** برای تنظیم فعالیت‌های ماهیچه‌های آن بند (قطعه) وجود دارد. اعصاب محیطی آن‌ها انشعاباتی است که از مغز، طناب عصبی و گره عصبی به سمت اندام‌های بدن ادامه یافته‌اند.



«ملخ»

● نکات کلی از بدن حشرات (البته نکات حشرات بسیار زیاد هستند و در اینجا به صورت اجمالی به بررسی ویژگی‌های عمومی آن‌ها می‌پردازیم.)

حشرات، همگی به‌طور مشترک **لولهٔ گوارش** از **دهان تا مخرج** دارند که در ملخ قسمت‌هایی شامل چینه‌دان، پیش‌معده و... نیز دارند. تنفس حشرات به صورت **نایدیسی** با لوله‌های **منشعب** در تمام نقاط بدن می‌باشد که **سیستم گردش خون آن‌ها در تبادل گازهای تنفسی آن‌ها نقش ندارد**. حشرات دستگاه گردش خون **باز** همراه **همولنف و قلب لوله‌ای پشتی** دارند که **دریچه‌های منفذدار قلب** آن‌ها در هنگام **استراحت قلب** و خون‌گیری باز می‌شوند. در این جانوران سیستم دفع مواد زائد نیتروژن‌دار آن‌ها که به صورت دفع **اوریک اسید** می‌باشد توسط **لوله‌های مالپیگی** و با مخلوط شدن ادرار و مدفوع آن‌ها و خروج از لوله گوارش صورت می‌گیرد. در این جانوران، اسکلت خارجی، لقاح داخلی و چشم مرکب نیز دیده می‌شود.

۴) دستگاه عصبی مهره‌داران

مهره‌داران همانند انسان، همگی دستگاه عصبی مرکزی و محیطی دارند. طناب عصبی آن‌ها یک عدد و به صورت **پشتی** است که بخش **جلویی** برجسته به نام **مغز** دارند. طناب عصبی نخاعی آن‌ها درون سوراخ مهره‌ها و مغز درون جمجمه‌ای استخوانی یا غضروفی جای گرفته است.

نکته: در بین مهره‌داران **اندازهٔ نسبی مغز** پستانداران و پرندگان **نسبت به وزن بدن** آن‌ها از بقیه بیشتر است (دقت کنید که اندازه مغز کروکودیل (خزنده) از مغز پرنده بیشتر است ولی اندازه آن نسبت به وزن بدن در پرنده از کروکودیل بیشتر است).

نکته: طناب عصبی شکمی موجود در بی‌مهرگان برخلاف طناب عصبی پشتی مهره‌داران درون ستون مهره‌ها قرار نگرفته است.