تشریح مباحثی از فصل تنظیم عصبی، کتاب زیست شناسی ۲

اشاره

در فصل اول (تنظیم عصبی) کتاب درسی زیست‌شناسی پایهٔ یازدهم، به انواع یاخته‌های پشتیبان و عملکرد آن‌ها، مننژ و سد خونی‌مغزی اشاره‌ای گذرا شده است. این نوشته توضیحی تکمیلی برای مطالب این قسمت از کتاب درسی است؛ با این امید که بتواند مورد استفادهٔ دبیران زیست‌شناسی باشد.

فریبا رمضانی ویشکی

دکتری زیست شناسی و مدرس دانشگاه فرهنگیان، مرکز شهید بهشتی تهران

محمدرضا رضایی تبار

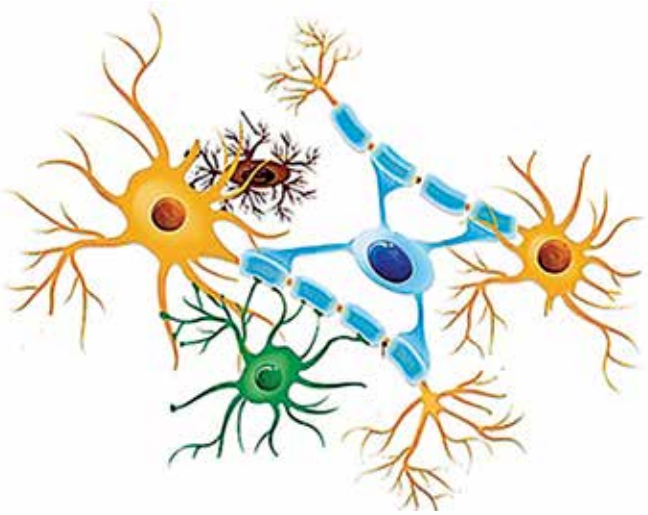
دانشجومعلم دانشگاه فرهنگیان، مرکز شهید بهشتی تهران

کلیدواژه‌ها: یاخته‌های گلیال، یاخته‌های ستاره‌ای، اولیگودندروسیت‌ها، یاخته‌های شوآن، یاخته‌های اپاندیمی، میکروگلیا، یاخته‌های اقماری، مننژ، سد خونی مغزی

متن کتاب: تعداد یاخته‌های پشتیبان چند برابر یاخته‌های عصبی است و انواع گوناگون دارد. این یاخته‌ها داربست‌هایی را برای استقرار یاخته‌های عصبی ایجاد می‌کنند. آن‌ها در دفاع از یاخته‌های عصبی و حفظ هم‌ایستایی مایع اطراف آن‌ها (مثل حفظ مقدار طبیعی یون‌ها) نیز نقش دارند.

یاخته‌های گلیال یا پشتیبان

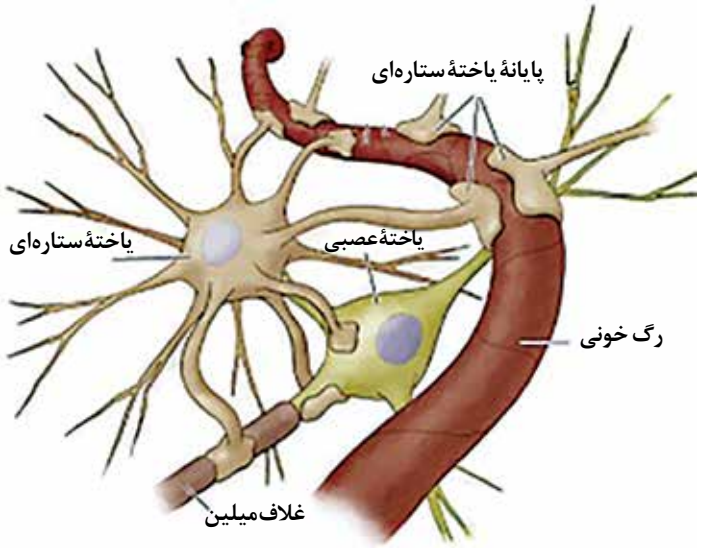
دستگاه عصبی یکی از دستگاه‌های اصلی بدن برای هماهنگی عملکرد بخش‌های مختلف بدن است. یاخته‌های عصبی به‌عنوان یاخته‌های اصلی این دستگاه و یاخته‌های پشتیبان به‌عنوان یاخته‌های غیرعصبی در نظر گرفته می‌شوند. بیشتر یاخته‌های گلیال[1] از یاخته‌های اجدادی صفحهٔ عصبی رویانی منشأ می‌گیرند و تعداد آن‌ها در مغز پستانداران حدود ده برابر یاخته‌های عصبی است. این یاخته‌ها، جایگزینی برای یاخته‌های بافت همبند هستند، در تداوم بقا و فعالیت نورون‌ها دخالت دارند، برای یکپارچگی ساختاری دستگاه عصبی و عمل طبیعی آن‌ها ضروری هستند و چون محافظت و حمایت از آن‌ها را بر عهده دارند، به‌عنوان یاخته‌های پشتیبان[2] دستگاه عصبی شناخته می‌شوند. در دستگاه عصبی انسان، شش نوع یاختهٔ پشتیبان وجود دارد که دو



نوع آن در دستگاه عصبی محیطی و چهار نوع دیگر به طور اختصاصی در دستگاه عصبی مرکزی یافت می‌شوند. دخالت در استقرار یاخته‌های عصبی، دفاع و حفظ هم‌ایستایی نورون‌ها، تشکیل غلاف میلین، کمک به تغذیه و اکسیژن‌رسانی یاخته‌های عصبی، حذف لاشهٔ نورون‌های مرده (پاکسازی) از جمله عملکردهای یاخته‌های گلیال در دستگاه عصبی است.

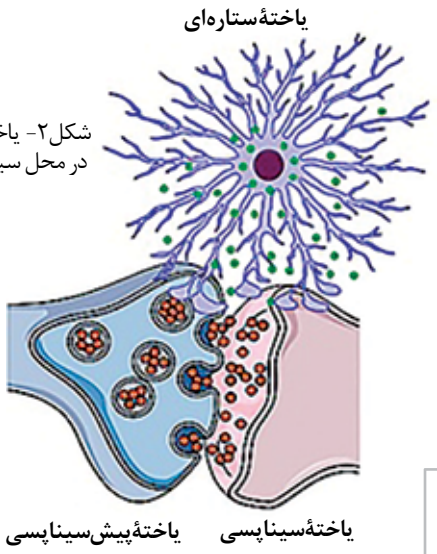
یاخته‌های ستاره‌ای

یاخته‌های ستاره‌ای[۳]، منحصراً در دستگاه عصبی مرکزی و در همهٔ قسمت‌های مغز و نخاع دیده می‌شوند و فراوان‌ترین یاختهٔ گلیال در مغز هستند. این یاخته‌ها از یاخته‌های اجدادی در لولهٔ عصبی منشأ می‌گیرند و طیف وسیعی از عملکردها را دارند. یاخته‌های ستاره‌ای تعداد زیادی زائدهٔ بلند منشعب دارند و داربست‌هایی تشکیل می‌دهند که یاخته‌های عصبی را در محل خود نگه می‌دارند (شکل ۱).



شکل ۱- یاخته‌های ستاره‌ای

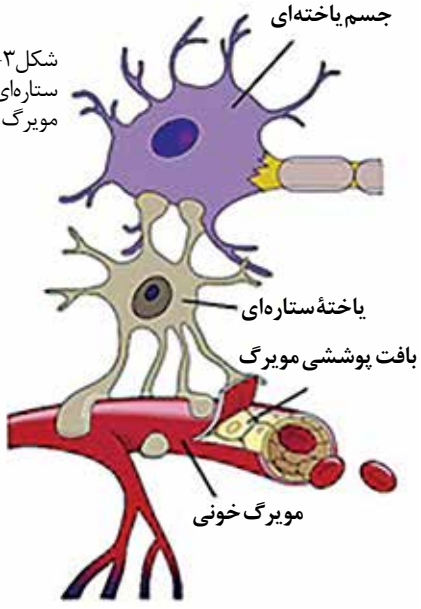
زوائد انتهایی یاخته‌های ستاره‌ای معمولاً وسعت زیادی را اشغال می‌کنند و با تعداد بسیار زیادی ناحیهٔ سیناپسی، آن‌ها را می‌پوشانند و به این صورت در تشکیل، کارکرد و شکل‌پذیری این ساختارها تأثیر می‌گذارند. چنین وضعیتی، پراکندگی ناقل‌های عصبی را که توسط پایانهٔ آکسونی آزاد می‌شوند، محدود می‌کنند و سبب انتقال یکنواخت پیام عصبی می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲- یاخته‌های ستاره‌ای در محل سیناپس

یاخته‌های ستاره‌ای تعداد زیادی زائدهٔ بلند منشعب دارند و داربست‌هایی تشکیل می‌دهند که یاخته‌های عصبی را در محل خود نگه می‌دارند

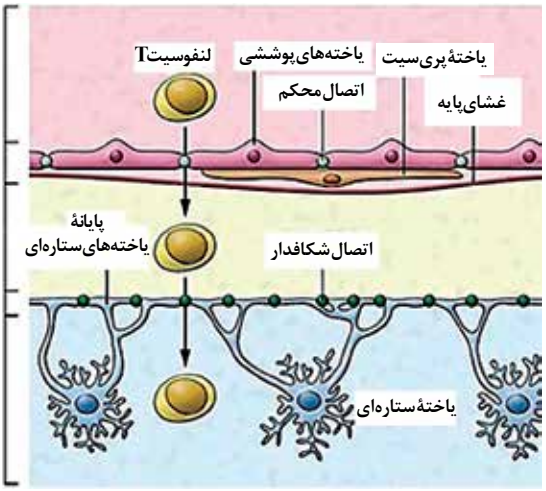
یاخته‌های ستاره‌ای در تغذیهٔ نورون‌ها و تنظیم غلظت یون‌ها در محیط خارج یاخته‌ای دخالت دارند. این یاخته‌ها باعث گشاد شدن رگ‌های خونی اطراف یاخته‌های عصبیِ فعال می‌شوند که این امر موجب تأمین گلوکز و اکسیژن آن‌ها می‌شود (شکل ۳). از سوی دیگر این یاخته‌ها با دخالت در تبدیل گلوکز به گلیکوژن و ذخیرهٔ آن سبب می‌شوند تا در زمان‌هایی که میزان سوخت‌وساز یاخته‌های عصبی در این ناحیه به‌طور ویژه‌ای بالا می‌رود، از آن استفاده کنند.



شکل ۳- یاخته‌های ستاره‌ای در مجاورت مویرگ خونی

یاخته‌های ستاره‌ای با ایجاد یک سد متشکل از زوائد پروتوپلاسمی وسیع به نام غشای محدود کنندهٔ گلیال، منتز را در سطح خارجی دستگاه عصبی مرکزی مفروش می‌کنند

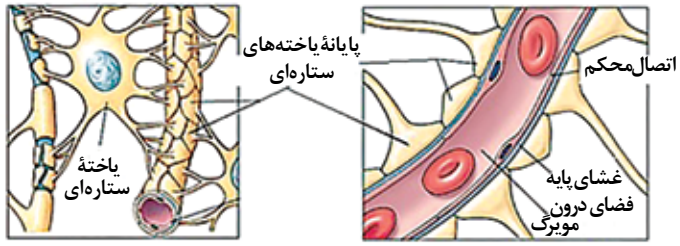
در صورت صدمه به دستگاه عصبی مرکزی، یاخته‌های ستاره‌ای تکثیر می‌یابند و به‌صورت جوشگاه[4]، نقایص بافتی را پر می‌کنند. به‌علاوه، این یاخته‌ها از طریق تماس زوائد یاخته‌ای خود با «بقایای یاخته‌های‌بافت عصبی»[5]، آن‌ها را احاطه و طی بیگانه‌خواری هضم می‌کنند. یاخته‌های ستاره‌ای از طریق اتصالات شکاف‌داری به‌طور مستقیم با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و با ایجاد یک سد متشکل از زوائد پروتوپلاسمی وسیع به نام غشای محدودکنندهٔ گلیال، منتز را در سطح خارجی دستگاه عصبی مرکزی مفروش می‌کنند (شکل ٤).



شکل ٤- نقش یاخته‌های ستاره‌ای در غشای محدودکنندهٔ گلیال

دخالت در استقرار یاخته‌های عصبی، دفاع و حفظ هم‌ایستایی نورون‌ها، تشکیل غلاف میلین، کمک به تغذیه و اکسیژن‌رسانی یاخته‌های عصبی، حذف لاشهٔ نورون‌های مرده (پاکسازی) از جمله عملکردهای یاخته‌های گلیال در دستگاه عصبی است

این یاخته‌ها در القای تشکیل اتصالات محکم بین یاخته‌های دیوارهٔ مویرگ‌های دستگاه عصبی مرکزی دخالت دارند و با ایجاد زوائد دور عروقی، یاخته‌های پوششی جدار مویرگ‌های دستگاه عصبی مرکزی را احاطه و به تشکیل سد خونی‌مغزی و تنظیم حرکت مواد بین نورون‌ها و مویرگ‌ها کمک می‌کنند (شکل٥).

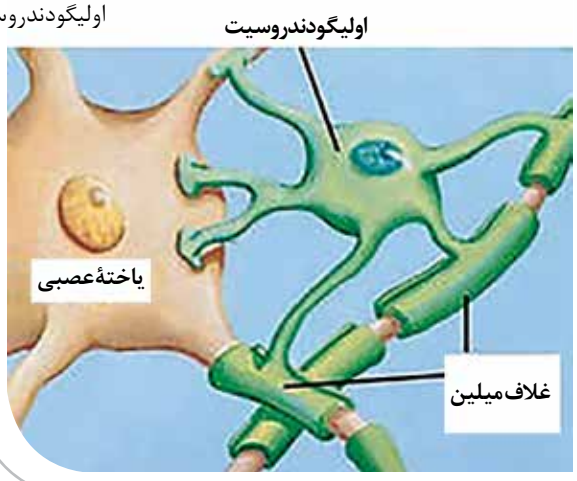


شکل٥- دخالت یاخته‌های ستاره‌ای در تشکیل سد خونی‌مغزی

اولیگودندروسیت‌ها

اولیگودندروسیت‌ها[6]، معمولاً به‌صورت یاخته‌های کوچک با هسته‌های مدور، متراکم و سیتوپلاسم بی‌رنگ فقط در دستگاه عصبی مرکزی یافت می‌شوند و از یاخته‌های گلیال اصلی و غالب، در مادهٔ سفید آن هستند. این یاخته‌ها در دستگاه عصبی مرکزی مهره‌داران با خارج کردن زوائد ورق‌مانند دور بخشی از یک آکسون مجاور خود، چند بار می‌پیچند و در طول آن یک غلاف میلین را برای عایق‌بندی تار عصبی ایجاد می‌کنند.

زوائد یک اولیگودندروسیت می‌تواند به دور آکسون‌های متعدد تابیده شود (شکل٦).



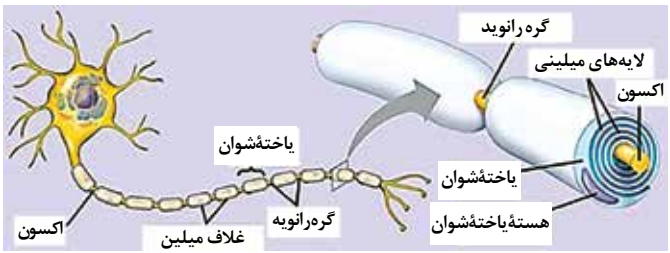
شکل٦- تشکیل غلاف میلین چندلایه به‌وسیلهٔ اولیگودندروسیت‌ها

یاخته‌های شوآن

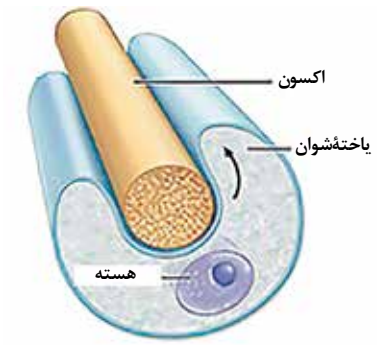
یاخته‌های شوآن[7] از پیش‌سازهای موجود در ستیغ عصبی تمایز می‌یابند، در دستگاه عصبی محیطی یافت می‌شوند و نقشی را که اولیگودندروسیت‌ها در دستگاه عصبی مرکزی دارند در دستگاه عصبی محیطی ایفا می‌کنند. هر یاختهٔ شوآن، برخلاف

اولیگودندروسیت‌ها، می‌تواند در اطراف فقط قطعه‌ای از یک آکسون، میلین بسازد (شکل۷). غلاف میلین به‌عنوان یک عایق عمل می‌کند و به موجب آن میزان هدایت پتانسیل عمل در طول تار عصبی سرعت می‌یابد.

شکل۷- تشکیل غلاف میلین چندلایه به وسیلهٔ یاختهٔ شوآن

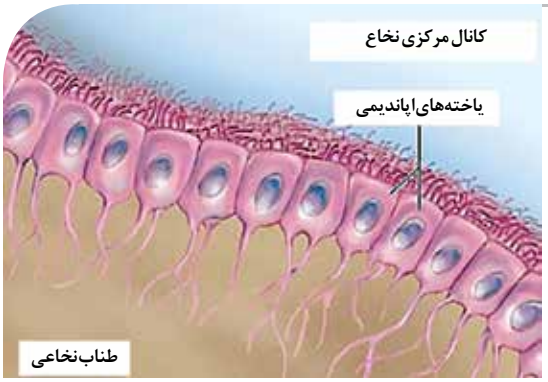


اولیگودندروسیت‌ها در دستگاه عصبی مرکزی مهره‌داران با خارج کردن زوائد ورق مانند دور بخشی از یک آکسون مجاور خود، چند بار می‌پیچند و در طول آن یک غلاف میلین را برای عایق‌بندی تار عصبی ایجاد می‌کنند



یاخته‌های اپاندیمی

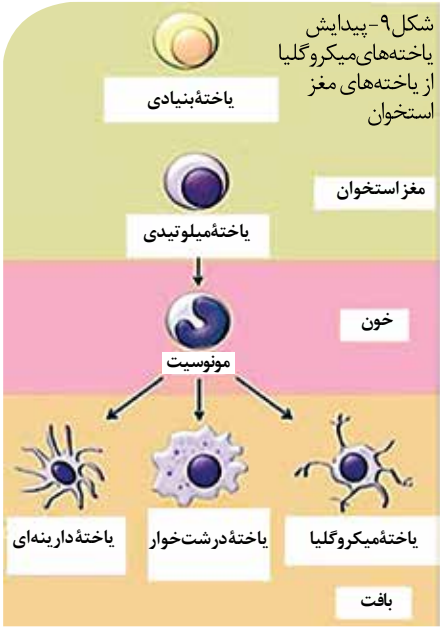
یاخته‌های اپاندیمی[8]، از یاخته‌های لولهٔ عصبی منشأ می‌گیرند و از نظر شکل ظاهری، مکعبی و استوانه‌ایِ‌شکل‌اند و ریزپرزهای[9] بلندی دارند که احتمالاً در جذب مواد نقش دارند (شکل۸). یاخته‌های اپاندیمی، بطن‌های مغزی و مجرای مرکزی طناب نخاعی را مفروش می‌کنند و با داشتن انتهای مژک‌دار در برخی از مناطق دستگاه عصبی مرکزی، موجب تسهیل حرکت مایع مغزی- نخاعی می‌شوند. این یاخته‌ها علاوه بر تسهیل حرکت مایع مغزی-نخاعی، در تولید آن نیز نقش دارند. یاخته‌های اپاندیمی توسط مجموعه‌های اتصالی رأسی به هم متصل می‌شوند و سطح قاعده‌ای هر یاختهٔ اپاندیمی دارای زوائد سیتوپلاسمی است که توسط این زوائد به بافت عصبی زیرین یعنی درون نوروپیل‌های مجاور (شبکه‌ای از زوائد یاخته‌ای که از نورون‌ها و یاخته‌های گلیال بیرون می‌زنند) لنگر می‌اندازد.



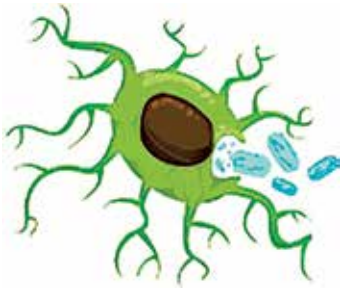
شکل۸- یاخته‌های اپاندیمی

میکروگلیا

میکروگلیا[10] از لحاظ منشأ از یاخته‌های مغز استخوان (مونوسیت‌ها) منشأ می‌گیرند و جزو یاخته‌های ارائه‌دهندهٔ آنتی‌ژن هستند (شکل۹). این یاخته‌ها، در همهٔ مادهٔ خاکستری و سفید به صورت یکنواخت توزیع می‌شوند و تعداد آن‌ها از اولیگودندروسیت‌ها و یاخته‌های ستاره‌ای کمتر و تقریباً با تعداد نورون‌ها در برخی از مناطق دستگاه عصبی مرکزی برابر است. میکروگلیاها، تقریباً ۲۰ درصد از کل یاخته‌های گلیال مغز را تشکیل می‌دهند و کوچک‌ترین یاخته‌های گلیالی هستند که زوائد نامنظم و کوتاهی دارند. این یاخته‌ها برخلاف سایر یاخته‌های گلیال متحرک‌اند، به‌عنوان نمایندهٔ دستگاه ایمنی در مغز عمل می‌کنند، بعضی از آن‌ها به‌عنوان فاگوسیت یا بیگانه‌خوار، سیناپس‌ها یا سایر اجزای رشته‌های صدمه‌دیده یا فرسوده و پیر را از میان برمی‌دارند و دستگاه عصبی مرکزی را پاک‌سازی (شکل ۱۰) و از سوی دیگر تعدادی از سیتوکین‌های تنظیم‌کنندهٔ ایمنی را ترشح می‌کنند.



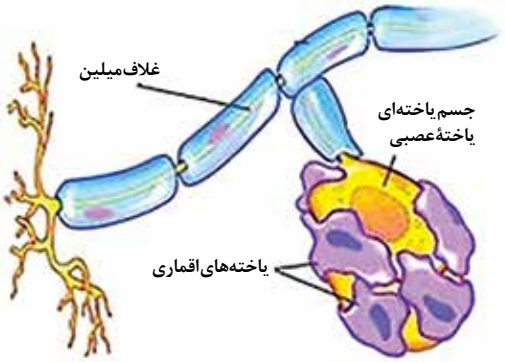
شکل۹- پیدایش یاخته‌های میکروگلیا از یاخته‌های مغز استخوان



شکل ۱۰- بیگانه خواری میکروگلیاها

یاخته‌های اقماری

یاخته‌ها اقماری[11] از ستیغ عصبی رویانی مشتق می‌شوند و یک لایهٔ پوششی روی جسم یاخته‌های عصبی در دستگاه عصبی محیطی تشکیل می‌دهند. نقش اصلی تغذیه و تنظیم فعالیت نورون‌های موجود در دستگاه عصبی محیطی بر عهدهٔ این نوع از یاخته‌های گلیال است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- یاخته‌های اقماری در اطراف نورون

متن کتاب: علاوه بر استخوان‌های جمجمه و ستون مهره، سه پرده از نوع بافت پیوندی به نام پرده‌های مننژ از مغز و نخاع حفاظت می‌کنند. فضای بین پرده‌ها را مایع مغزی- نخاعی پر کرده است که مانند یک ضربه‌گیر، دستگاه عصبی مرکزی را در برابر ضربه حفاظت می‌کند.

مننژ

دستگاه عصبی مرکزی توسط استخوان‌های جمجمه و ستون مهره محافظت می‌شود. بین استخوان و بافت عصبی، پرده‌های مغزی یا مننژ[12] از جنس بافت همبند قرار گرفته است. همان‌گونه که اشاره شد، یاخته‌های ستاره‌ای با ایجاد یک سد متشکل از زوائد پروتوپلاسمی وسیع به نام غشای محدودکنندهٔ گلیال، مننژ را در سطح خارجی دستگاه عصبی مرکزی مفروش می‌کنند (شکل ٤).

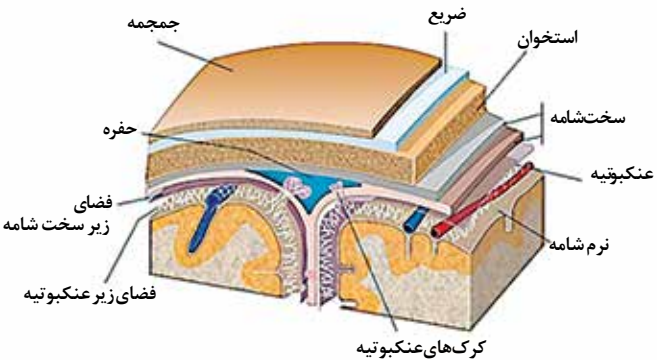
بخش خارجی مننژ از جنس بافت همبند متراکم نامنظم، دو لایه‌ای و ضخیم است که سخت‌شامه[13] نام دارد و به‌صورت یک لایهٔ خارجی و یک لایهٔ داخلی سازمان یافته است. پیرامون مغز، این دو

یاخته‌های بافت پوششی مویرگ‌های سد خونی مغزی با تعداد زیادی اتصالات انسدادی و تکامل‌یافته به هم چسبیده‌اند و یک سد عملکردی با کنترل بسیار شدید را در برابر عبور مواد از خون به دستگاه عصبی مرکزی ایجاد می‌کنند

لایهٔ سخت‌شامه معمولاً به هم پیوسته‌اند، اما در مناطق خاصی از هم فاصله می‌گیرند و سینوس‌های وریدی سخت‌شامه را تشکیل می‌دهند که پر از خون هستند. سخت‌شامه در اطراف نخاع توسط فضای فوق سخت‌شامه‌ای از ضریع استخوان‌های ستون مهره جدا می‌شود. این فضا، محتوی شبکه‌ای از وریدهای با جدار نازک و بافت همبند سست است و با تشکیل فضایی نازک به نام فضای زیرسخت‌شامه‌ای از عنکبوتیه[14] جدا می‌شود.

لایهٔ عنکبوتیه نیز دارای دو بخش است: بخش اول در تماس با سخت‌شامه قرار دارد و صفحه‌ای متشکل از بافت همبند است و بخش دوم، مجموعه‌ای از نوارهای متشکل از فیبروبلاست‌ها و کلاژن که در امتداد لایهٔ نرم‌شامه در زیر، قرار دارد. بافت همبند عنکبوتیه، مویرگ‌های تغذیه‌کننده ندارد، اما رگ‌های خونی بزرگ‌تر از درون آن می‌گذرند (شکل۱۲). فضای عنکبوتیه از مایع مغزی- نخاعی پر شده است که دستگاه عصبی مرکزی را در برابر ضربات خفیف محافظت می‌کند. این فضا با بطن‌های مغز در ارتباط است. عنکبوتیه در برخی نواحی، از سخت‌شامه می‌گذرد و برآمدگی‌هایی به نام کرک‌های عنکبوتیه را (شکل۱۲) که حاوی مایع مغزی- نخاعی است به درون سینوس‌های وریدی پر از خون موجود در سخت‌شامه ایجاد می‌کند که عمل آن‌ها جذب و انتقال مایع مغزی- نخاعی به درون خون سینوس‌های وریدی است. ارتباط نزدیک عنکبوتیه و نرم‌شامه، سبب می‌شود که به‌عنوان یک غشای واحد به نام نرم عنکبوتیه در نظر گرفته شود.

داخلی‌ترین لایه، متشکل از یاخته‌های مسطح با منشأ مزانشیمی است و نرم‌شامه[15] نام دارد. این لایه به‌رغم مجاورت با بافت عصبی، در تماس مستقیم با یاخته‌ها و رشته‌های عصبی نیست و توسط لایهٔ سطحی بسیار نازکی از زوائد یاخته‌های ستاره‌ای از آن جدا شده است. لایهٔ حاصل از زوائد یاخته‌های ستاره‌ای با تشکیل یک سد فیزیکی، بافت دستگاه عصبی مرکزی را از مایع مغزی- نخاعی در فضای تحت عنکبوتیه جدا می‌کند. رگ‌های خونی از طریق فضاهایی به نام فضای دور عروقی که توسط نرم‌شامه پوشیده شده‌اند به درون دستگاه عصبی مرکزی نفوذ می‌کنند



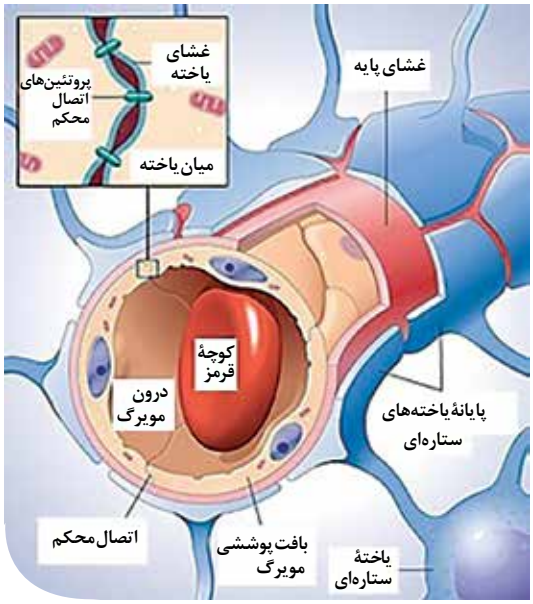
شکل ۱۲- پردهٔ مننژ

متن کتاب: یاخته‌های بافت پوششی مویرگ‌های مغز به یکدیگر چسبیده‌اند و بین آن‌ها منفذی وجود ندارد. در نتیجه بسیاری از مواد و میکروب‌ها در شرایط طبیعی نمی‌توانند به مغز وارد شوند. عامل حفاظت‌کننده، سد خونی‌مغزی نام دارد. البته مولکول‌هایی مثل اکسیژن، گلوکز، آمینواسید و برخی داروها می‌توانند از این سد عبور کنند و به مغز وارد شوند.

سد خونی‌مغزی

یاخته‌های اپاندیمی، بطن‌های مغزی و مجرای مرکزی طناب نخاعی را مفروش می‌کنند

همان‌گونه که اشاره شد، یاخته‌های ستاره‌ای با ایجاد زوائد دور عروقی، یاخته‌های پوششی جدار مویرگ‌های دستگاه عصبی مرکزی را احاطه می‌کنند و به تشکیل سد خونی- مغزی[16] کمک می‌کنند. مویرگ‌های دستگاه عصبی مرکزی از نوع مویرگ‌های پیوسته[17] هستند. یاخته‌های بافت پوششی مویرگ‌های سد خونی‌مغزی با تعداد زیادی اتصالات انسدادی (محکم)[18] و تکامل‌یافته به هم چسبیده‌اند و یک سد عملکردی با کنترل بسیار شدید را در برابر عبور مواد از خون به دستگاه عصبی مرکزی ایجاد می‌کنند. این مویرگ‌های ویژه بر خلاف ساختار عادی در مویرگ‌ها، منافذ معمول را ندارند و اتصالات انسدادی، موجب پیوستگی و یکپارچگی یاخته‌های پوششی و تبادل کاملاً تنظیم‌شدهٔ مواد از خلال یاخته‌ها می‌شوند (شکل ۱۳). در نتیجه، عبور املاح و مواد، محدود می‌شود و بسیاری از مولکول‌ها، ریزمولکول‌ها و همچنین باکتری‌ها به راحتی قادر به عبور از آن و رسیدن به مایع مغزی- نخاعی نیستند. سد خونی‌مغزی، موجب هم‌ایستایی و توازن یون‌ها در مایع اطراف یاخته‌های عصبی و پشتیبان می‌شود، در عملکرد طبیعی یاخته‌های عصبی دخالت دارد و آن‌ها را در برابر عوامل باکتریایی و مواد مضر محافظت می‌کند.



شکل ۱۳- سد خونی‌مغزی

پی‌نوشت‌ها

1. Glial cell
2. Neuroglia cell
3. Astrocytes
4. Scar
5. Neural debris
6. Oligodendrocyte
7. Schwann cell
8. Ependymal cell
9. Microvilli
10. Microgelia
11. Satellite cells
12. Meninges
13. dura mater
14. Arachnoid
15. Pia mater
16. Blood Brain Barrier
17. Continuous capillary
18. Tight junction

منابع

1)Vasile. F., Dossi. E., Rouach. N., Brain Struct Funct; (2017); Human astrocytes: structure and functions in the healthy brain. 1383-5.
2)Simons M1, Trajkovic K. (2006); Neuron-glia communication in the control of oligodendrocyte function and myelin biogenesis; J Cell Sci. 2006 Nov 1;119(Pt 21):4381-9.
3)Alexei Verkhratsky and Arthur Butt; (2013); Glial Physiology and Pathophysiology, First Edition; John Wiley & Sons, Ltd.
4)Mack. J., et al.; (2009); Anatomy and development of the meninges: Implications for subdural collections and CSF circulation.Pediatric Radiology; 39(3):200-10.
5) Tajes. M. et al; (2014); The blood-brain barrier: Structure, function and therapeutic approaches; Molecular Membrane Biology 31(5):1-16.