

اختلالات عصب تحولی در کودکان و نوجوانان

راهنمای ارزیابی، تشخیص و درمان

تألیف

کریستوفر جی نیکولز

ترجمه

دکتر سعید رضایی

عضو هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبائی



فهرست مطالب

مقدمه.....	۵
بخش اول: ابعاد متفاوت بودن.....	۱۱
۱ ابعاد بیولوژیکی تفاوت	۱۳
۲ ابعاد خانوادگی و اجتماعی	۳۹
۳ ابعاد مفهومی	۶۱
۴ راجع به طبقه‌بندی مقوله‌ها و ابعاد	۸۳
بخش دوم: مزنونین همیشگی.....	۹۷
۵ ناتوانی‌های ذهنی و تحولی	۹۹
۶ اختلال توجه و کارکرد اجرایی	۱۲۳
۷ علوم اعصاب اجتماعی تحولی و اختلال طیف اتیسم	۱۴۹
۸ اختلالات یادگیری	۱۶۷
بخش سوم: نقش متخصص بالینی.....	۱۹۱
۹ ملاحظات مربوط به ارزیابی	۱۹۳
۱۰ جمع‌بندی و نوشتن گزارش	۲۰۹
۱۱ ملاحظات مربوط به مداخله	۲۲۳
۱۲ سؤالاتی که باید از خود پرسیم	۲۳۵
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....	۲۴۳
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی.....	۲۴۶

بخش اول

ابعاد متفاوت بودن

اغلب طرحی کلی از چگونگی اجرای مصاحبه پذیرش در اختیار متخصصان بالینی حوزه آموزش قرار می‌دهند. معمولاً، متخصصان بالینی خواستار اطلاعات جمعیت‌شناختی، شکایت‌های موجود، سوابق مشکلات موجود و مواردی از این قبیل هستند. توصیه می‌کنیم همه متخصصان بالینی یک کتاب راهنمای «چه باید کرد»، داشته باشند تا به آنها در جمع‌آوری این اطلاعات کمک کند. همچنین اقداماتی برای اجرای مصاحبه‌های پذیرش وجود دارد که با اجرای آن می‌توانید این فرایند را با آسودگی خاطر بیشتری انجام دهید. در بخش III این کتاب به ایده‌ها و نظراتی که در این باره وجود دارد اشاره خواهیم کرد؛ هرچند، ابتدا سعی دارم مخاطبانم را به اندیشیدن راجع به فرایند ارزیابی و درمان کودکان و نوجوانان به شیوه‌ای مشابه با خواندن رمان راز آلود پیچیده‌ای دعوت کنم.

رمان‌ها همواره دربرگیرنده چندین موضوع و داستان فرعی‌اند که اغلب به‌طور هم‌زمان اتفاق می‌افتند و به نظر می‌رسد ارتباط اندکی باهم دارند تا اینکه فرد به نتیجه داستان می‌رسد. ناگهان همه رشته‌ها کنار هم جمع می‌شوند و سردرگمی مخاطب جای خود را به سطح بالایی از درک و فهم می‌دهد، درحالی‌که لبخند می‌زنیم و متوجه می‌شویم نشانه‌های این راز از همان ابتدای داستان مقابل دیدگانمان بوده؛ اما ما متوجه آن نشده‌ایم. تنها باید آنها را به شیوه‌هایی که قبلاً متوجه آن نبودیم کنار هم قرار می‌دادیم.

بخش I راجع به چندین موضوع فرعی بحث می‌کند که شامل ارزیابی و درمان کودکان با اختلال‌های عصب‌تحوالی می‌شود. موضوعات معین به‌صورت هدفمند و به‌منظور تأکید بیشتر بر آنها، تکرار می‌شوند؛ هرچند، ملاحظات دیگری وجود دارند که در این بخش در نظر گرفته نشده‌اند. امیدوارم مخاطب متوجه اهمیت پرسش سؤالات متعدد راجع به موضوعات بالقوه و فراوان مورد نظر شده باشد، درحالی‌که می‌داند بسیاری از پیچ‌وخم‌های این مسیر به بن‌بست ختم می‌شوند؛ اما درنهایت مسیر اصلی برای او روشن و متقاعدکننده خواهد شد. بخش I درباره ابعاد تفاوت افراد با یکدیگر است و علت مراجعه آنها به ما و درخواست مشاوره‌شان را مشخص می‌کند.

۱ ابعاد بیولوژیکی تفاوت

شما والدینتان را انتخاب نمی‌کنید.

در اواسط دهه ۱۸۰۰، پسری کشاورز که سال‌های اول زندگی‌اش را در منطقه‌ای روستایی گذرانده بود، از سوی مدیر مدرسه منطقه شناسایی شد؛ چراکه دارای استعداد ذاتی برای یادگیری بود. مدیر مدرسه شرایطی را مهیا کرد تا این پسر را برای پرورش استعدادش به کالج بفرستد. اگرچه، این مرد جوان فقیر بود، طی دوره‌هایی دچار افسردگی شدید شد، در برخی آزمون‌های دانشگاهی خود مردود شد؛ اما به مطالعاتش ادامه داد و در نهایت از مؤسسه پژوهشی فلسفه دانشگاه اولوموک فارغ‌التحصیل شد. او به فرقه آگوستین^۱ در کلیسای توماس موناستری در برنو ملحق شد (در حال حاضر دومین شهر بزرگ در جمهوری چک است) که آنجا با پژوهش‌ها و هوش و ذکاوت راهب‌های موناستری آشنا شد. تصمیم گرفت آزمایش‌هایش را آغاز کند و در باغی نخودفرنگی‌هایی با خصوصیات مختلف کاشت. به‌طور نظامند عمل لقاح دو سلول جنسی متفاوت^۲ را روی گیاهان نخودفرنگی انجام داد که به نظر می‌رسید خصوصیات متفاوتی با یکدیگر داشتند (توارث مندلی^۳).

گری‌گور، نامی که راهب‌ها برای او برگزیده بودند، دو نتیجه‌گیری مهم از اقداماتش داشت. اولین نتیجه‌گیری این بود که قانون جدایی یا انفصال را مطرح کرد. طبق این قانون به نظر می‌رسد برخی صفات قدرتمندتر باشند و طی پیوند موجودات با نژادهای گوناگون بر دیگر صفات غالب شوند. این خلاف عقیده عموم در آن زمان بود؛ چراکه در آن زمان معتقد بودند صفات طی ترکیب، در هم ادغام می‌شوند. او نتیجه‌گیری دیگر خود را قانون تفکیک مستقل^۴ ژن‌ها نامید که اثبات می‌کرد صفات به‌طور مستقل از سایر صفات منتقل می‌شوند. اوایل، تلاش وی برای معرفی دستاوردهایش چندان مؤثر نبود و عمده فعالیت‌های علمی‌اش چندان روشن و قابل‌فهم نبود تا اینکه پژوهش‌های جورج مندل زمینه درک دیگران از دیدگاهش درباره مفاهیم مرتبط با علوم ژنتیک و زیست‌شناسی را فراهم آورد.

قوانین توارث مندل دلالت بر آن دارد: زمانی که دو بخش از یک جفت ژن که «آلل» نام دارد از یکدیگر جدا می‌شوند و طی تولیدمثل جنسی با جفت ژنی دیگر آمیخته می‌شوند؛ سلول جدید یک الل

1. Augustinian order

2. cross-fertilizing

3. Mendelian Inheritance

4. Law of Independent Assortment

دارد که بر سایر ال‌ها غالب است. از زمانی که مندل اقدامات اصلی خود را انجام داده است، مشخص شده که اصول و قواعد او توسعه یافته است. اعم از این ایده که برخی ال‌ها کاملاً غالب نیستند؛ برخی جفت‌های ژنی به‌طور مستقل کنار هم قرار نمی‌گیرند؛ زیرا به‌طور فیزیکی متصل به کروموزوم هستند و اینکه برخی ژن‌ها در کروموزوم جنسی واقع می‌شوند.

اما همچنان همه می‌دانند و پذیرفته‌اند که صفات از یک نسل به نسل دیگر منتقل می‌شوند و والدین به شما خواهند گفت که یکی از فرزندان‌شان بیشتر شبیه مادر و دیگری کاملاً شبیه پدر است. علم ژنتیک یا وراثت مظهر فیزیکی تولیدمثل است. زمانی که گوسفندی با گوسفند دیگری جفت‌گیری می‌کند، حاصل آمیزش آنها چه خواهد شد؟ بله، منظور مرا متوجه شدید. هرچند، آنچه کمتر قابل درک است، اشکال غیرمندلی انتقال وراثت است که در آن هر ژن می‌تواند تأثیر شگرفی بر رفتار داشته باشد و تأثیرات ژنتیکی بر چنین مسائلی انتزاعی‌ای وجود دارد؛ مثل چرخه خشونت بین بزرگسالانی که در کودکی درست تربیت نشده‌اند. برای مثال، پروژه معیارهای حوزه تحقیق مؤسسه ملی بهداشت روان^۱ (RDoC) (مؤسسه ملی بهداشت روان، ۲۰۱۷) بالغ بر ۲۰ تأثیر ژنتیکی احتمالی بر مفهوم «ترس» شناسایی کرده است که با سایر اشکال اضطراب یا آنچه «نظام‌های جاذبه منفی» می‌نامند تفاوت دارد. به‌طور واضح، نخستین نظریه‌های روان‌شناسی چنین مفروض می‌دارند که برخی رفتارها حاصل یادگیری اجتماعی یا وابستگی مادرفرزند یا رشد روانی جنسی است. باوجوداینکه این فرضیه اشتباه نیست؛ اما تنها قله کوه یخ را نشان می‌دهد و منعکس‌کننده تمایل ما برای توجیه پیچیدگی‌های زندگی انسان است.

درک کودک درحال رشد و مسائلی که ممکن است پیش بیاید، باید با درک این موضوع شروع شود که انسان‌ها نتیجه ترکیب ژنتیکی و انتخاب مستقل هستند. ترکیب ویژگی‌ها و صفات در کودک همیشه منطبق با ترکیب صفات مشابه در والدین نیست. فرایند میوز^۲ (تغییرات متوالی هسته که منتهی به تشکیل سلول جدید می‌شود) که در آن تقسیم سلولی تعدد کروموزوم‌ها را در سلول والدین می‌کاهد و آنها را نصف می‌کند تا چهار سلول مولد جنسی تولید کند؛ موجب تولید سلول‌های گامت می‌شود که به نظر می‌رسد به‌صورت تصادفی اتفاق می‌افتد. این بدان معناست که سلول‌های جدید حاوی همه کروموزوم‌های مادر یا پدر نیستند و یاخته‌های سلولی^۳ حاوی ترکیبی از ژن‌های پدر و مادراند. از بسیاری جهات، داشتن فرزند شبیه به ریختن تاس یا امتحان شانس‌های ژنتیکی است. ما می‌دانیم ظاهر تاس چگونه است و می‌تواند اشاره به دو روی متفاوت تاس داشته باشد؛ اما نتیجه‌ای که از پرتاب ترکیب‌های تاس به دست می‌آید، تنها می‌تواند از طریق احتمالات توضیح داده شود و حاصل

1. The National Institute of Mental Health's Research Domain Criteria

2. meiosis

3. haploid cells

اطمینان ما به پیش‌بینی نتایج این است که شما با پولی در جیب از سر میز شرط‌بندی کازینو بلند می‌شوید.

هدف ما تشخیص این مسئله است که برخی بیماری‌های ژنتیکی آثار عمیقی بر رشد مغز و تکامل دارند و ممکن است در پس اظهاراتی نهفته باشند که کودک در مراجعه به شما بیان می‌کند. اختلالات رایج تک‌زنی در کودکان شامل فیروز کیستی، نوروفیروماتوز، فنیل‌کتونوری، و سندروم X شکننده است. متخصصانی که با کودکان و نوجوانان کار می‌کنند باید حداقل آگاهی‌شان را در زمینه این بیماری‌ها ارتقا دهند؛ چراکه تشخیص و مداخله زودهنگام اغلب، کلید پیامدهای بلندمدت است. هرچند به‌طور کلی، درک این مسئله که چرخه عمر انسان با الگوهای برانگیخته‌شده ژنتیکی رشد مغز آغاز می‌شود، حائز اهمیت است.

آیا مطمئن‌اید آنها والدین شما هستند؟

بدون اینکه در وضعیتی پیچیده و بغرنج قرار بگیریم و حواسمان را از هدف اصلی این فصل منحرف کنیم، شما را دعوت می‌کنم که به این سؤال توجه کنید. کودکانی که در مطب شما حاضر می‌شوند فرزند واقعی مراقبانی هستند که آنها را نزد شما آورده‌اند؟

جامعه در پذیرش مدل‌های خانوادگی دیگر به‌شدت منعطف است و بهتر است این سؤال را مطرح کنیم (به‌طور خصوصی) که آیا کودک، فرزند واقعی مراقبان فعلی خود است یا خیر. جدای از تغییرات واضح و روشنی که پذیرفتن فردی بیگانه در نظام خانوادگی به وجود می‌آورد و قیمومیت فرضی پدربزرگ و مادربزرگ، عمه و خاله و غیره، علم پزشکی طیف گسترده‌ای از ابزارهای گوناگون باروری و فرزندآوری را در دسترس قرار داده است. ممکن است کودکان حاصل بارداری در رحم اجاره‌ای، لقاح مصنوعی، اهدای تخمک/ اسپرم و مواردی از این قبیل باشند. گاهی اوقات این بارداری‌ها بر اثر روابط جنسی سرراهی، یا مادرانی که مایل‌اند بدون ازدواج رسمی به‌صورت مجرد و تنها به شکل روابط جنسی آزاد با یک مرد مجرد آبستن شده و به مطب شما بیایند و درباره آن مرد چنین توضیح دهند که او هرگز خود را درگیر این مسئله نکرده است. نکته اینجاست که همه‌چیز همیشه آن‌طور نیست که به نظر می‌رسد و پرسیدن تنها راجع به سوابق خانوادگی مادر باعث چشم‌پوشی از سایر عوامل ژنتیکی و خانوادگی می‌شود. اگر نپرسید، نخواهید دانست. شاید حساس‌ترین شیوه برای کار روی این موضوع درخواست از والدین یا مراقبان برای کمک به شما در ترسیم نمودار شجره‌نامه خانوادگی باشد. این فرایند به‌سرعت این امکان را برای شما فراهم می‌آورد تا اطلاعات بیشتری راجع به ساختار خانواده بیولوژیکی کودک به دست آورید.

تشکیل صفحه عصبی در مراحل اولیه جنینی، بسته شدن آن و تشکیل و رشد دستگاه عصبی

لقاح شامل آمیزش گامت‌ها و تبدیل شدن به موجود زنده جدیدی به نام زیگوت^۱ است. تقسیم سلولی ابتدا هیچ فرایند رشدی را شامل نمی‌شود؛ اما سلول طی فرایند تقسیم سلولی به ۲، ۴، ۶ و به همین ترتیب تا ۱۲۸ سلول تقسیم می‌شود که در این هنگام رویان یا به عبارتی جنین را «بلاستولا»^۲ می‌نامند. حدود هفت روز بعد از لقاح، بلاستولا خود را به رحم می‌رساند و به داخل دیواره رحم می‌رود. از روز نهم، دولاویه زاینده^۳ (سلول ابتدایی جنین پس از مرحله گاسترولا) از هم متمایز می‌شوند (لایه خارجی یا اکتودرم خلفی^۴ و لایه داخلی یا اندودرم شکمی^۵) و سپس در نتیجه تاخوردن بلاستولا به داخل، سطح سوم (مزودرم) بین اکتودرم و اندودرم به وجود می‌آید. در روز هجدهم عمر جنین، نظام عصبی شروع به شکل‌گیری روی سطح خلفی رویان می‌کند (باله پشتی کوسه را در نظر بگیرید) و در هفته سوم بارداری، سلول ابتدایی جنین پس از مرحله گاسترولائی اکتودرمی به صفحه‌ای گلابی‌شکل متمایز می‌یابد، درحالی‌که دو انتهای بالایی (جمعیه) و پایینی (دمی) دارد. این صفحه را صفحه عصبی می‌نامند. سلول‌های مرکزی‌تر روی این صفحه از سطح درونی خود شروع به باریک‌تر شدن می‌کنند، درحالی‌که سلول‌های اطراف آنها روی سطح خارجی‌شان شروع به باریک‌تر شدن می‌کنند که شیار عصبی‌ای به وجود می‌آورد و به تدریج این شیار عمیق‌تر می‌شود و درنهایت روی خود تامی‌خورد تا لوله عصبی را تشکیل دهد. این لوله حدوداً تا روز ۱۲۵ام از عمر رویان، از قسمت میانی به سمت هر دو انتها بسته می‌شود. انتهای جمعیه‌ای این لوله درنهایت مغز را تشکیل می‌دهد، درحالی‌که انتهای دمی کانال نخاعی را تشکیل می‌دهد. مخاطبانی که مایل‌اند هریک از ویدئوهای یوتیوب را که توالی مراحل بالا را نشان می‌دهد مرور کنند، آن را با عنوان neurulation جست‌وجو نمایند.

اختلالات عصب‌تحوالی می‌توانند حتی از این مرحله ابتدایی از رشد و تحول نیز آغاز شوند. اگر مشکلی در تشکیل صفحه عصبی و بسته شدن آن و تشکیل لوله عصبی پیش بیاید (ساخت لوله عصبی) در هفته سوم عمر فرد، اختلال‌هایی جدی، مثل آنسفالی^۶ می‌تواند رخ دهد. آنسفالی عبارت است از عدم رشد مغز و جمعیه محافظ که در اکثر موارد، مبتلایان به این اختلال زنده نخواهند ماند. از روی شکل ظاهری صورت نوزادانی که با عارضه آنسفالی به دنیا می‌آیند می‌توان وجود این اختلال را در آنها تشخیص داد؛ هرچند، سر آنها به سمت عقب و پیشانی‌شان به سمت پایین شیب

1. zygote

2. blastula

3. germ layer

4. dorsal ectoderm

5. Ventral endoderm

6. Anencephaly

دارد و مغز روی ساقه مغز و نخاع رشد نیافته است. مرکز کنترل بیماری‌ها به‌طور مستمر به پژوهش در حوزه علت آنسفالای پرداخته است و به نظر می‌رسد عوامل ژنتیکی و نیز محیطی علت اصلی چنین اختلالی باشند (مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌ها (CDC)، ۲۰۱۷، ۲ آگوست).

اختلال‌های مربوط به بسته شدن انتهای پایینی / دمی لوله عصبی می‌توانند موجب به وجود آمدن اشکال گوناگونی از اسپینا بفیدا^۱ شوند که در آن لوله عصبی در کل طول مسیر بسته نمی‌شود و استخوان محافظ آن قسمت از نخاع رشد نمی‌یابد. اغلب به دلیل آسیب به نخاع و اعصاب این اتفاق می‌افتد. سه نوع فرعی اسپینا بفیدا وجود دارد که شامل میلو مننگوسل، مننگوسل و اسپینا بفیدا پنهان^۲ می‌شود. اکثر افراد تصور می‌کنند نوع میلو مننگوسل اسپینا بفیدا از جدی‌ترین اشکال آن است که در آن کیسه حاوی مایع نخاعی و بخشی از دستگاه عصبی از پشت کودک بیرون می‌زند و آسیب می‌بیند. نتیجه آن اغلب ناتوانی‌های بسیار شدیدی است که بر مهارت‌هایی مثل توانایی راه رفتن یا حرکت پاها تأثیر می‌گذارد؛ موجب از دست دادن حس لامسه پا و مشکل در استحمام فرد می‌شود. اگر این کیسه فقط حاوی مایع نخاعی باشد و هیچ اثری از عصب در آن نباشد این وضعیت را مننگوسل می‌نامند و ناتوانی‌هایی که موجب می‌شود خفیف‌تر خواهد بود. خفیف‌ترین شکل اسپینا بفیدا را نوع پنهان آن می‌نامند و شامل عدم رشد استخوان در بخشی از ستون فقرات می‌شود؛ اما هیچ آسیبی به دستگاه عصبی وارد نمی‌کند و ضرورتاً هیچ تأثیر تحولی‌ای ندارد. بسیاری از افراد مبتلا به اسپینا بفیدا پنهان تا مدت‌ها پس از تولد از مشکل خود مطلع نمی‌شوند.

اسپینا بفیدا نمونه خوبی است که نشان می‌دهد چرا درک فرایندهای تحولی که بر دستگاه عصبی تأثیر می‌گذارند برای متخصصانی که کودک یا نوجوان را ارزیابی می‌کنند مهم است؛ هرچند، چندین تغییر دیگر در رشد و نمو مغز می‌تواند بعدها پیامدهایی به همراه داشته باشد؛ زمانی که لوله عصبی تشکیل می‌شود. انتهای مجموعه‌ای لوله عصبی شروع به رشد و تمایز به بخش‌های مختلفی از مغز می‌کند، اعم از مغز پیشانی، مغز میانی و مغز پسین. مغز شروع به تاخوردن یا خم شدن به سمت جلو می‌کند (به سمت ناحیه شکمی) و از هفته پنجم بارداری، مغز به چهار بخش تقسیم می‌شود که تا هفته هفتم تخصص می‌یابند؛ یعنی زمانی که ما می‌توانیم مشخصه‌های اصلی مغز را تشخیص دهیم، دو نیمکره، تالاموس، مخچه، پل دماغی و بصل‌النخاع قابل تشخیص‌اند. حالا شروع به صحبت از دوران جنینی یا رویانی می‌کنیم که از حدود هشت یا نه هفتگی آغاز می‌شود و رویان خصوصیات قابل‌شناسایی و شکل انسانی به خود می‌گیرد. حتی در این مرحله بسیار ابتدایی از زندگی، سلول‌های مغز ما بر مبنای کدگذاری ژنتیکی که دارند، شروع به مهاجرت یا حرکت از لایه زاینده به بخش‌های

1. spina bifida

2. myelomeningocele, meningocele, and spina bifida occulta

مختلف می‌کنند. مغز ایجاد لایه‌های عصبی و اتصالات آکسونی را شروع می‌کند که با سرعت بالایی ظاهر می‌شوند؛ این فرایند به‌قدری با سرعت اتفاق می‌افتد که از حدوداً ماه پنجم بارداری، سطح صاف مغز درحال رشد باید چین بخورد تا فضای غشایی کافی برای رشد کل سلول‌های عصبی فراهم آید. این چین‌خوردگی با ترتیبی منظم اتفاق می‌افتد و نواحی مختلف مغز را به لوب‌هایی تقسیم می‌کند که با پستی‌ها و بلندی‌هایی در طول سطح مغز تعریف می‌شوند. اگر سطح مغز را بگسترانید، همه چین‌وچروک‌ها را باز و آنها را صاف کنید، اندازه آن حدود چهار برگه نامه خواهد شد (فردریچ و بوید، ۲۰۰۱).

در اینجا نیز ممکن است اشتباهاتی رخ دهد. گاهی اوقات چین‌خوردگی‌های مغز تشکیل نمی‌شود و همین امر موجب صاف بودن سطح مغز می‌شود (لیسنسفال) که نواحی‌ای را محدود می‌کند که نورون‌ها می‌توانند در آن تمایز یابند (مؤسسه ملی اختلال‌های عصب‌شناختی و سکت، ۲۰۱۷b). همچنین ممکن است چین‌وچروک‌هایی که ایجاد می‌شوند به‌اندازه کافی بزرگ نباشند (میکروگیری یا کوچکی بیش از حد شیارهای مغز) که موجب محدودیت‌هایی می‌شود. حقیقت جالب‌توجه این است که لایه اعصاب در غشای مغز بسیار باریک است، بین دو تا چهار میلی‌متر، یا ممکن است ضخامت آن به‌اندازه سه کارت اعتباری باشد که روی هم قرار داده شده‌اند. چگونه سطحی با ضخامت سه گیره کاغذ مسئول شناختی است که از شناخت ساده مادر نوزاد تا فیزیک کوانتوم یا نوشتن یک قطعه طولانی موسیقی طبقه‌بندی می‌شود؟ به نظر می‌رسد پاسخ این سؤال با توجه به این حقیقت داده شود که نورون‌ها به‌سرعت رشد می‌کنند یا با سرعت شگفت‌انگیزی طی دوران بارداری تکثیر می‌شوند. از هفته ۱۲ تا ۱۴ بارداری، سلول‌های عصبی با سرعتی حدود ۱۵ میلیون در ساعت تکثیر می‌شوند (آکرمن، ۱۹۹۲، صفحه ۲). به‌طورکلی این سلول‌ها به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شده‌اند تا حرکت کنند و خود را به نقاطی از مغز برسانند که در آن تخصص می‌یابند (تمایز سلولی) و کارکردهای متناسب با نقطه‌ای از مغز که در آن قرار گرفته‌اند خواهند داشت. سلول‌های مشابه کنار هم قرار می‌گیرند و نواحی‌ای از مغز را به وجود می‌آورند و شروع به ایجاد اتصالات در همان ناحیه و نیز سایر نواحی مغز می‌کنند.

پیچیدگی این فرایند غیرقابل‌تصور است. پژوهشگران در آزمایشگاه رادیولوژی محاسباتی بیمارستان کودکان بوستون^۱ درحال استفاده از فنون میکروسکوپی الکترونیکی هستند که می‌توانند از نورون‌های مغز فرد تصویربرداری کنند. این فناوری در درک ساختار و اتصالات مدارهای عصبی مغز در سطوح وضوح تصویر شگفت‌انگیز، به ما کمک می‌کند (پژوهش آزمایشگاه رادیولوژی محاسباتی، ۲۰۱۵). این اقدام آنها تأییدکننده برآوردهایی است که یک میلی‌متر مکعب از غشای مغز، حدوداً اندازه یک دانه شن، می‌تواند حاوی ۵۰۰۰۰ نورون باشد که هرکدام از آنها ۶۰۰۰ اتصال با سلول‌های

1. Computational Radiology Laboratory at Boston Children's Hospital

اطرافشان ایجاد می‌کنند. این ۳۰۰ میلیون اتصال به‌شدت خاص‌اند و امکان ارتباط با برخی از سلول‌ها و نه همه آنها را فراهم می‌آورند؛ البته این ارتباطات طبق برنامه ژنتیکی که دارند شکل می‌گیرد. چگونه این سلول‌ها شروع به ایجاد ارتباط و اتصال به یکدیگر می‌کنند؟ جسم سلول عصبی دارای انشعابات است که از طریق آن اطلاعات را به/از سایر نورون‌ها ارسال (آکسون) و دریافت (دندريت) می‌کند. در هر نقطه اتصال نورون‌ها که آن را سیناپسی نامند، جریان الکتریکی که از آکسون به سمت پایین آمده موجب می‌شود حباب‌های شیمیایی (انتقال‌دهنده عصبی)^۱ به فضای کوچک بین آکسون و دندريت سلول دریافت‌کننده آزاد شود. با پر شدن ورودی‌های دریافت‌کننده (دست‌کش بیسبال را تصور کنید)، این عناصر شیمیایی باعث برانگیختگی سلول گیرنده می‌شود. سلول‌ها به‌نوبت باهدف برقراری ارتباط با سلول عصبی بعدی، این حالت برانگیختگی را به یکدیگر انتقال می‌دهند. آکسون نورون‌ها در نواحی خاصی از مغز شروع به ایجاد گروه با یکدیگر می‌کند تا مدارها یا مسیرهایی را تشکیل بدهند که امکان برقراری ارتباط را فراهم می‌کند، نه‌تنها در ناحیه خاصی از مغز، بلکه بین نواحی مختلف مغز و به سمت پایین در طول کانال نخاعی. تصویر این فرایند می‌تواند شبیه اعضای خانه‌ای باشد که هر روز صبح خانه را ترک می‌کنند تا سوار اتومبیل شوند و از خیابان محل زندگی‌شان به خیابان اصلی برسند که با یک بزرگ‌راه تقسیم‌شده ایالت‌ها را به هم متصل می‌سازد.

با تخصص‌یافتن نواحی مغز، مسیرهای اتصال برای کار در نواحی خاصی از مغز تخصص می‌یابند (گذرگاه‌های ارتباطی)^۲؛ آنهایی که ارتباط بین نیمکره راست و چپ مغز را برقرار می‌کنند (مسیرهای عصبی رابط)^۳ و آنهایی که پیام‌ها را ارسال و از کانال نخاعی دریافت می‌کنند (مسیرهای عصبی دورتر)^۴. معمولاً، این اتصالات همگی رشد می‌یابند و به‌طور مؤثر کار می‌کنند؛ اگرچه، خواهیم آموخت اگر این فرایند به‌درستی اتفاق نیفتد، مشکلات تحولی به وجود خواهند آمد. یکی از مثال‌ها در این زمینه را پیدایش جسم پینه‌ای می‌نامند که در آن نوار ضخیمی از مسیرهای عصبی که نیمکره چپ و راست را به هم متصل می‌کند به‌طور کامل رشد نمی‌یابد. نتیجه آن تغییراتی تحولی است که از آن با عنوان مغز دوپاره^۵ یاد می‌شود. پژوهش‌ها چگونگی تغییرات کارکردهای شناختی را که تحت‌تأثیر این اختلال قرار گرفته‌اند، هنگامی بررسی کردند که درحال برش مسیرهای اتصال در مغز بزرگ‌سالان طی عمل جراحی بودند و قصد داشتند با این کار انتشار بیماری صرع آنها را متوقف کنند. اقدامات راجع اسپری و همکارانش در دهه ۱۹۶۰ که برنده جایزه نوبل^۶ شد، به ما در درک این مطلب کمک کرد که

1. neurotransmitters
2. association pathways
3. commissural pathways
4. projection pathways
5. split brain
6. Nobelprize.org