

باز آفرینی بدن انسان

ترجمه و اقتباس: محمد کرام الدینی

جهش‌های تک‌ژنی و بیماری‌ها

مرگ در پی تب خونریزی‌دهنده «ابولا» جانگداز است. بیمار ابولایی ابتدا با علائمی شبیه آنفلوآنزا بسیار ضعیف می‌شود. از آنجا که ویروس شروع به پاره کردن رگ‌های خونی می‌کند، بیمار به تهوع، اسهال، استفراغ و سردرد و خون‌ریزی غیرقابل کنترل دچار می‌شود، مایعات حیاتی بدن خود را از دست می‌دهد، به شوک فرو می‌رود و مرگی دردناک به سراغ او می‌آید.

ابولا در سال ۱۹۷۶ در کشور کنگو کشف شد؛ اما سال‌ها بعد، دانشمندانی که بازماندگان ابولای سال ۲۰۱۴ را در گینه مورد بررسی قرار می‌دادند، گروهی از زنان را یافتند که قبلاً در معرض این بیماری قرار گرفته بودند؛ اما به نظر می‌رسید نسبت به آن ایمن شده باشند. این یافته تعجب‌چندانی در بر نداشت؛ اما وقتی در بدن کسانی نیز که در معرض این ویروس قرار نگرفته بودند، پادتن بیماری مشاهده کردند، در شگفت شدند و این فرضیه را مطرح کردند که ممکن است برخی از آنان نسبت به ابولا ایمنی ارثی داشته باشند؟

در واقع، ویروس ابولا هنگام حمله به میزبان، پروتئینی به نام پروتئین «ایمن‌بیک نوع C» (NPC) را که از سوی ژنی به همین نام رمزگذاری می‌شود، هدف قرار می‌دهد. کودکانی که دو نسخه جهش‌یافته از این ژن مغلوب را از والدین خود را به ارث می‌برند، عموماً از بیماری «نیم‌بیک نوع C» که نوعی اختلال عصبی است و ارتباطی با ابولا ندارد، می‌میرند؛ اما نکته اینجاست: افرادی که تنها یک نسخه جهش‌یافته از ژن NPC را دارند، در برابر ویروس ابولا مقاوم‌اند. بسیاری از ژن‌های جهش‌یافته کمک‌های بسیاری

به ماندگاری جانداران می‌کنند. پژوهشگران برای بررسی این ژن‌ها افراد جهش‌یافته را پیدا می‌کنند و اطلاعات آن‌ها را به پایگاه‌هایی که صدها هزار یا حتی میلیون‌ها ژنوم و سوابق بهداشتی دارند می‌افزایند، تا هر گونه ارتباط بین وجود ژن جهش‌یافته و مقاومت در برابر بیماری‌های خاص را بیابند.

شناسایی جهش‌های تک‌ژنی که اثرهای مهم و مثبت دارند، امکان ویرایش آن‌ها را در فرد یا در فرزندان آینده آن‌ها افزایش می‌دهد. تعادل ظریفی که طی میلیون‌ها سال در سلول‌های ما برقرار شده، اجازه نمی‌دهد تعداد بسیار اندکی از ژن‌های ما اثرهای آن چنان بزرگی داشته باشند که سود افزودن یا حذف آن‌ها از خطر تغییر آن‌ها بیشتر باشد.

ایجاد تغییرات کوچک در چنین ژن‌هایی تنها راه نیست. البته، ژن‌ها مهم‌اند؛ اما آنچه در واقع و در نهایت سلول‌ها انجام می‌دهند، مهم‌تر است. بنابراین، حتی اگر ژن خاصی پیدا کنیم، لازم نیست حتماً با تغییر آن را اصلاح کنیم. در برخی موارد منطقی‌تر، ایمن‌تر، آسان‌تر و ارزان‌تر آن است داروهایی بسازیم که باعث شوند آنچه می‌خواهیم در سلول‌ها ساخته شود.

حتی در این صورت هم جهش‌هایی مضر یا مفیدی وجود خواهند داشت که این نوع درمان برای آن‌ها غیرممکن است. مثلاً، ممکن است جهشی باعث نوعی بیماری میتوکندریایی شده و به اندازه‌های زیان‌مند باشد که برخی بخواهند همه نسل‌های آینده را از شر آن خلاص کنند. بعضی والدین نیز ممکن است بخواهند سلول‌های زاینده فرزندان آینده خود را به گونه‌ای تغییر دهند که مثلاً در مقابل HIV ایمن باشند.

کاربرد کریسپر هنوز بی‌خطر نیست

اولین سؤالی که والدین می‌پرسند این است که آیا ویرایش کریسپری چند تک‌ژن در جنین، پیش از لانه‌گزینی بی‌خطر است. پاسخ در حال حاضر منفی است. «کریسپر»^۲ هنوز فناوری چندان پیشرفته‌ای نیست. یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌ها در مورد نسل اول کریسپر که از ابزارهای ویرایش ژن است، آن است که ژنوم را در مکان‌هایی به جز مکان‌های مورد نظر دانشمندان نیز برش می‌دهد.

این نوع برش‌های بی‌هدف بسیار مهم‌اند. اگر ویرایش ژن‌های جهش‌یافته هدف همیشه بی‌خطر می‌بود، تغییرهای کوچکی که کریسپر طی ویرایش ژن در انسان انجام می‌داد، چندان اهمیت نداشتند؛ اما این‌طور نیست. یک جهش ناشی از کریسپر

می‌تواند فرد را به سرطان مبتلا کند. به همین علت، پژوهشگران سراسر جهان به درستی نسبت به ویرایش ژن‌های انسانی احتیاط می‌کنند.

به‌عنوان مثال، سال ۲۰۱۵ یک گروه تحقیقاتی چینی با اعلام نوع ویرایش دقیق کریسپری خود در مورد نازبستانی جنین‌های انسانی، جهان را متعجب کرد. در گزارش این گروه آمده است که از هشتاد و شش تخم بارور شده‌ای که به آن‌ها سامانه CRISPR-Cas⁹ برای ویرایش ژنوم طراحی و تزریق شده بود، تنها تعداد معدودی حاوی تغییر ژنتیکی مورد نظر بودند. این نسبت برای مدل‌های گیاهی، کرم‌ها، مگس‌ها و موش که هزینه اشتباه در آن‌ها کمتر است، قابل قبول؛ اما برای انسان غیر قابل قبول است [۱].

دانشمندانی که قصد رفع چنین نگرانی‌هایی را داشتند، بر افزایش دقت ویرایش کریسپری ژن و موفقیت چشمگیرتر این روش متمرکز شدند. آن‌ها آزمون‌های جدیدی کشف کردند که دقیق‌تر از CRISPR-Cas به ژنوم متصل می‌شوند و آن را می‌شکنند. برای ارزیابی مکان‌های ویرایش‌های کریسپری از الگوریتم‌های جدید هوش مصنوعی نیز استفاده می‌شود.

در سال ۲۰۱۷، محققان روش جدیدی برای تغییر دادن «حروف» DNA و RNA، یعنی A، C، G، و T بدون برش ژنوم گزارش کردند [۲]. مدل اصلی کریسپر نیاز به برش نردبان پیچ‌خورده DNA داشت؛ اما این فرایند اصلاح شده، ژن‌ها را بدون برش نوکلئیک‌اسید تغییر می‌دهد.

محققان برای انجام این کار، واحدهای DNA را به گونه‌ای تغییر دادند که به‌طور متفاوتی جفت شوند. به‌عنوان مثال، اگر سلول A را با C اشتباه بگیرد و آن را به جای T، با G جفت کند، ژن تغییر می‌کند؛ ولی اتفاقاتی که ممکن است بر اثر برش DNA حاصل شوند، روی نمی‌دهند.

این ابزار جدید که ویرایشگر باز آدنین^۳ (ABE) نامیده می‌شود، در ۳۴ تا ۶۸ درصد موارد درست کار می‌کند و در کمتر از ۰/۱ درصد سلول‌ها شواهدی از اشتباهات را نشان می‌دهد. اگرچه این پیشرفت بزرگی است، اما هنوز آماده ورود به بدن انسان نیست [۳].

اولین استفاده جنجالی بحث‌انگیز درباره استفاده از کریسپر، ادعای ویرایش ژن CCR5، در جنین‌های یک جفت دوقلو پیش از لانه‌گزینی در رحم بود که در اواخر نوامبر سال ۲۰۱۸ از سوی محققان چینی برای ایمن کردن آن‌ها در برابر HIV، انجام شد. اگرچه

بسیاری از دانشمندان و کردارشناسان چینی و جهانی این کار را محکوم کردند، این اولین مورد ویرایش ژن در انسان و یکی از مهم‌ترین مواردی بود که آینده مهندسی ژنتیک ما به سوی آن رهسپار است [۴].

شناخت پیچیدگی‌های انسان

انسان بیش از ششصد میلیون سال است در معرض جهش‌های تصادفی و انتخاب طبیعی قرار دارد. با این حال، ما موجوداتی بی‌نهایت پیچیده‌ای نیستیم؛ بلکه فقط بسیار پیچیده‌ایم. بین این دو یک تفاوت بزرگ وجود دارد: اگر پیچیدگی ما بی‌نهایت باشد، هرگز خود را نخواهیم شناخت؛ اما اگر این پیچیدگی بسیار باشد، بالاخره زمانی فرا خواهد رسید که ابزارهای ما بر این پیچیدگی پیروز خواهند شد.

امروزه، برخی موجودات ساده را به خوبی می‌شناسیم؛ چون ابزارهای پیشرفته‌تری برای شناخت پیچیدگی‌های زیست‌شناختی آن‌ها مناسب‌اند؛ اما چون زیست‌شناسی انسان بسیار پیچیده‌تر از ابزارهای امروزی ماست؛ باید صبر پیشه کنیم. با پیشرفت دانش و ابزارهای انسان، پیچیدگی ما با ابزارهای فردا آشکار خواهد شد؛ همان‌طور که موجودات ساده با ابزارهای امروزی ما قابل درک شده‌اند.

برای اینکه بتوانیم نگاهی اجمالی از کاهش فاصله بین پیچیدگی دانش و ابزارهای انسان با پیچیدگی زیست‌شناسی انسان و درک معنای واقعی آن به دست آوریم، کافی است ببینیم که درک ما از تک‌سلولی‌ها و موجودات ساده دیگر چقدر سریع رشد کرده است. کرم گرد «سینورابدیتیس الگانس» (*Caenorhabditis elegans*) مثال مناسبی برای این منظور است. اندازه این کرم در حالت بلوغ از هر یک از ویرگول‌های این صفحه کمتر و طول عمر آن از تولد تا مرگ معمولاً در حدود دو هفته است. این کرم یک مغز و دستگاه عصبی ابتدایی دارد، به‌صورت نمایی تولید مثل می‌کند و احتمالاً ساده‌ترین جاندار است که بسیاری از ژن‌های آن با انسان مشترک است. این خصوصیات به همراه بدن شفاف آن که به راحتی محتویات بدن را نشان می‌دهد، باعث می‌شوند که این موجود کوچک سوژه تحقیقاتی بی‌نقصی در میان جانداران مورد مطالعه در زیست‌شناسی باشند.

پژوهشگران طی دهه‌های گذشته این کرم را گرسنه نگه داشته‌اند، سرد و گرم کرده‌اند؛ با میکروسکوپ‌های پیشرفته مورد بررسی قرار داده‌اند، به‌طور وحشتناک در سانتیفریوژها چرخانده‌اند، در معرض پادتن‌ها قرار داده‌اند، پرتوهای میکروسکوپی

بسیاری از ژن‌های
جهش‌یافته کمک‌های
بسیاری به ماندگاری
جانداران می‌کنند



شکل ۱. کرم گرد
«سینورابدیتیس الگانس»



و به دانش دانشمندان با هم ترکیب می‌شود [۷]. زیست‌شناسی انسان میلیون‌ها سال است که پیچیده مانده است؛ اما ظرفیت ابزارهای ما اکنون به گونه‌ای نمایی در حال پیشرفت است.

کایمرهای انسانی

«کایمر»^۹ در اساطیر یونانی حیوانی است که از ترکیب دو یا چند حیوان مختلف به وجود آمده باشد، مثلاً، شیر با سر بز و گاه با دم مار. اخیراً کایمر به هر موجودی گفته می‌شود که از ترکیب بخش‌هایی از گیاهان یا حیوانات متعدد تشکیل شده باشد. کایمر امروزه از داستان‌ها به واقعیت آمده است.

تقریباً صد سال پیش، برای درمان دیابت از انسولینی استفاده می‌شد که از گاوها گرفته می‌شد. این نوع انسولین به مدت چند دهه زندگی افراد بی‌شماری را نجات داد، تا اینکه تغییری ژنتیکی که انسان در باکتری «اشریشیا کلای» ایجاد کرد، سبب شد انسولین انسانی در مقیاس بزرگ تولید شود.

تا سه دهه قبل، پزشکان برای ترمیم قلب انسان از دریچه‌های قلب خوک یا گاو استفاده می‌کردند. دانشمندان در پیوند دریچه‌های قلب حیوانات به انسان، نسبت به پیوند اندام‌های کامل از حیوان به انسان موفقیت‌های بیشتری داشته‌اند. در سال ۱۹۸۴، «لئونارد بیلی»^۶ جراح کالیفرنایی و همکاران قلب یک بایون را به کودکی که «بیبی فی» نام داشت و سندرم مادرزادی نادر هیپوپلازی قلب چپ را نشان می‌داد، پیوند زدند. این نوزاد آمریکایی اولین کودک انسان بود که عمل پیوند بین گونه‌ای با موفقیت روی او انجام شد.

«بیبی فی» یک ماه پس از آن درگذشت، اما این روند باعث پیشرفت در پیوند اعضای بدن انسان به انسان شد که ثابت شده بود بسیار پایدارتر از پیوند حیوان به انسان است. این نوع پیوند از آن زمان به

لیزری به آن‌ها تابانده‌اند، پروفایل پروتئین‌های آن‌ها را تعیین و ژن‌های آن‌ها را برای آزمون‌های دقیق‌تر استخراج و تقویت کرده‌اند.

در سال ۲۰۱۱، گروهی از دانشمندان بلندپرواز سراسر جهان برای ایجاد پروژه «لوپین ورم»^۴ به منظور ایجاد شبکه‌ای در تلاش مشترک برای شکستن رمز نحوه عملکرد «س.الگانس»، گرد آمدند [۵].

مغز «س.الگانس» دقیقاً ۳۰۲ سلول دارد که در یک دیگرام اتصالات (کانکتوم) نقشه‌برداری شده است. این کانکتوم نقشه‌ای جامع است که اتصالات مغز کرم را در حال عملکرد نشان می‌دهد. همکاران پروژه «لوپین ورم» در تلاش برای شبیه‌سازی مجازی این کرم و ایجاد یک نسخه مجازی از آن، نورون‌های آن را به یک برنامه رایانه‌ای که یک ربات کوچک را هدایت می‌کند، ترجمه کردند. نورون‌های حرکتی کرم، دماغه و دیگر قسمت‌های بدن کرم در این برنامه دارای معادل‌های رباتیک هستند [۶]. این ربات هنگام اجرا، حرکات کرم گرد واقعی را به گونه‌ای تعجب‌آور شبیه‌سازی می‌کند.



شکل ۲. نقشه بدن کرم «س.الگانس»

یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌ها در مورد نسل اول کریسپر که از ابزارهای ویرایش ژن است، آن است که ژنوم را در مکان‌هایی به جز مکان‌های مورد نظر دانشمندان برش می‌دهد

ما طی چند دهه گذشته از شناخت اندک این کرم به شناخت عمیق عملکرد حرکت آن رسیده‌ایم؛ زیرا پیشرفت ابزارهای ما باعث پیشرفت دانش شده است. عزیمت از جایی که اکنون در آن قرار داریم و شناخت امروزی ما از زیست‌شناسی انسان تا جایی که دانش مادر حد دانش کنونی مان درباره «س.الگانس» برسد، نیاز به نقشه‌ای دارد که در حال ساخت است. «اطلس سلولی انسان» یک «بستر هماهنگی» آزاد است که داده‌های مربوط به زیست‌شناسی انسان را از سراسر جهان گرد می‌آورد. این مجموعه «نقشه‌های مرجع جامع کلیه سلول‌های انسانی» با گذشت زمان رشد می‌کند، ابزارهای تحقیق قدرتمندتر می‌شوند

بعد، جان صدها هزار نفر را نجات داده است. با این حال، این پیوندها دو مشکل اساسی دارند: اول، بدن انسان طوری تنظیم شده است که DNA بیگانه را پس می‌زند، بنابراین، افرادی که پیوند به آن‌ها زده می‌شود، باید تا آخر عمر داروهای سرکوب‌کننده دستگاه ایمنی مصرف کنند و این وضع آن‌ها را در معرض خطر دیگر بیماری‌ها قرار می‌دهد. دوم، بسیاری از کشورها با کمبود شدید اندام‌های اهدایی روبه‌رو هستند.

اما چرا در اینجا متوقف شویم؟ اگر استفاده از انسولینی که باکتری‌های مهندسی ژنتیک شده و مخمرها می‌سازند، یک قدم بیشتر از استفاده از انسولین حیوانی است، آیا پیوند کامل یک عضو انسانی که در خارج از بدن همان فرد از سلول‌های شخصی خود او رشد کرده باشد، از پیوند عضو از حیوانی که ژن‌های آن ویرایش نشده، بهتر نیست؟ چه می‌شود اگر بتوانیم اندام‌های انسانی را درون بدن حیوانات رشد دهیم و بعداً از آن‌ها برای پیوند استفاده کنیم؟ چنین کاری آسان نخواهد بود؛ اما اولین قدم مهم برای تولید جنین‌های کایمری ساخته شده از سلول‌های یک نوع از حیوانات رشد یافته در نوع دیگر از حیوانات انجام شده است.

دانشمندان «موسسه سالک»^۸ در سن‌دیگو سلول‌های مختلف بنیادی انسان را به هزار و پانصد جنین خوک تزریق کردند، تا اینکه سرانجام سلولی انسانی پیدا کردند که می‌تواند به خوبی با سلول‌های خوک ادغام شود. تیم دیگری سلول‌های لوزالمعدة موش را به جنین‌های رت وارد کرد تا در آنجا به لوزالمعدة موش تبدیل شوند و سپس آن‌ها را بار دیگر برای درمان دیابت به بدن موش‌ها وارد کرد. پس از آن در فوریه ۲۰۱۸ «دیویس» و تیمی از دانشگاه کالیفرنیا جنین‌های گوسفند را با ۰/۰۰۱ درصد سلول انسانی ایجاد کرد [۸]. هک کردن جنین گوسفند درست مانند رت و موش برای خاموش کردن توانایی آن برای رشد دادن اندام خاصی از گوسفند و جانشین کردن آن با وارد کردن ژن‌های انسانی به آن، به طوری که گوسفند نوع انسانی همان اندام را بسازد، به واقعیت پیوسته است.

امکان وارد کردن DNA حیوانات به ژنوم انسان در آینده‌ای عملی خواهد بود. البته، اکنون هم مواردی از این علم وجود دارد و می‌تواند نوعی پروتئین فلورسان منفرد را از عروس دریایی به انسان وارد کند. این پروتئین می‌تواند باعث شود که شخص در برابر تابش اشعه ماورای بنفش، درخشان شود. به‌عنوان

مثال، اگر دانشمندان یک یا دو ژن که رت حفار برهنه را در برابر سرطان کاملاً مقاوم می‌کند، پیدا کنند، چرا نخواهیم در آینده نسخه‌هایی از آن ژن را با استفاده از کریسپر یا برخی ابزار دیگر ویرایش ژن به انسان منتقل کنیم؟ ادغام سامانه‌های ژنتیکی کاملی مانند آن‌ها که به سگ‌ها توانایی شنوایی ویژه می‌دهند، به عقاب بینایی شگفت‌انگیز می‌بخشند یا به دلفین‌ها سونار می‌دهند بسیار پیچیده‌تر است و به زودی امکان‌پذیر نیست؛ اما گذار زیست‌شناسی به زمینه دیگری برای مهندسی انسانی، با گذشت زمان، از جایی که داستان‌های علمی-تخیلی به پایان می‌رسند و علم آغاز می‌شوند، مهم است.

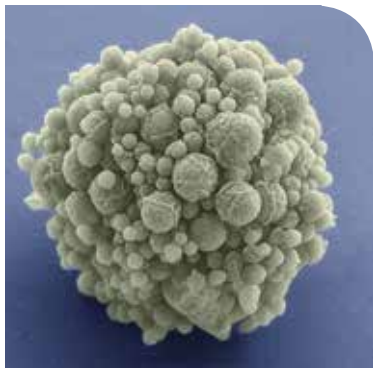
امکانات این نوع مهندسی بسیار گسترده است؛ چون همه حیات مطابق با تظاهرات مختلف اجزای ژنتیکی یکسان عمل می‌کند. روزی می‌توان حتی با استفاده از ترکیب‌های جدید همین واحدهای ساختاری ژنتیکی، حتی صفات و قابلیت‌های جدید انسانی را نیز از ابتدا ایجاد کرد.

اگر دانشمندان یک یا دو ژن که رت حفار برهنه را در برابر سرطان کاملاً مقاوم می‌کند، پیدا کنند، چرا نخواهیم در آینده نسخه‌هایی از آن ژن‌ها را به انسان منتقل کنیم

زیست‌شناسی مصنوعی

زیست‌شناسی مصنوعی از رایانه‌ها و مواد شیمیایی آزمایشگاهی برای نوشتن کدهای ژنتیکی جدیدی که هرگز در طبیعت موجود نبوده‌اند استفاده می‌کند و باعث می‌شود جانداران کارهایی انجام دهند که قبلاً برای آن‌ها برنامه‌ریزی نشده بوده‌اند. برخی از کاربردهای اولیه زیست‌شناسی مصنوعی شامل تلاش برای کشت گوشت در آزمایشگاه، مهندسی باکتری‌های تولیدکننده روغن، کاربرد DNA عنکبوت برای ساختن ابریشم فوق‌العاده سبک و لی محکم‌تر از فولاد و القای کلاژن گاوی برای ساختن چرم‌های غیرحیوانی است. از زیست‌شناسی مصنوعی برای





شکل ۴. مایکوپلازما مایکوتیدز

ایجاد میکروب‌های تجدیدپذیر برای تولید اکریلیک برای رنگ‌ها و قندهای مصنوعی ارزان قیمت برای سوخت‌های زیستی استفاده می‌شود. فهرست اولیه این نوع برنامه‌های کاربردی زیست‌شناسی مصنوعی تقریباً بی‌پایان است. این علم و صنعت مرتبط با آن در حال انفجار است؛ چون ابزارهای زیست‌شناسی مصنوعی به آسانی در دسترس‌اند.

بنیاد بین‌المللی ماشین‌های مهندسی ژنتیک شده^۹ یا (iGEM)^{۱۰}، مجموعه‌ای رایگان از توالی‌های DNA را برای رمزگذاری عملکردهای زیستی خاص فراهم کرده است که می‌تواند «برای ساخت دستگاه‌ها و سامانه‌های زیستی مصنوعی مخلوط و یکسان مورد استفاده باشد [۹]. بنیاد «بیوبریکز»^{۱۱}، که از سوی MIT و محققان هاروارد ایجاد شده است، توالی‌های ژن‌های مصنوعی را به‌صورت رایگان ارائه می‌دهد [۱۰].

پیامدهای تجاری این انقلاب بسیار گسترده است. تخمین زده می‌شود که بازار جهانی زیست‌شناسی مصنوعی از حدود ۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۳ به حدود ۴۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ و با نرخ رشد مرکب سالانه جهانی ۲۰ درصد برسد. جای تعجب نیست که انتظار می‌رود چین سریع‌ترین بازار جهان برای محصولات زیست‌شناسی مصنوعی باشد [۱۱]. به گفته «ریچارد کیتنی»^{۱۲} زیست‌شناس برجسته، زیست‌شناسی مصنوعی «همه پتانسیل‌های لازم برای ایجاد یک انقلاب بزرگ صنعتی جدید را دارد» [۱۲].

با افزایش جمعیت جهانی، آب و هوای زمین هم‌چنان رو به گرمی می‌رود و چالش‌های جدید و پیش‌بینی نشده‌ای به وجود می‌آورد. این نوع برنامه‌های کاربردی زیست‌شناسی مصنوعی مبتنی بر ویرایش ژن، برای بقای ما ضروری خواهند بود. وابستگی فزاینده ما به زیست‌شناسی مصنوعی در زندگی، راه را برای پذیرش بیشتر زیست‌شناسی مصنوعی هموار می‌کند. این روند نیز مدتی است آغاز شده است.

در سال ۲۰۱۰، «کریگ ونتر»^{۱۳} کارآفرین مستقل علم اعلام کرد که او و همکارانش ژنوم کامل نوعی باکتری به نام «مایکوپلازما مایکوتیدز»^{۱۴} را ساخته‌اند و آن را در غشای خالی باکتری دیگری قرار داده و اولین سلول مصنوعی را ساخته‌اند [۱۳]. این نوع ویرایش مانند تغییر دادن باکتری برای تولید انسولین نبود؛ بلکه ساختن حیات از ابتدا بود. شش سال بعد تیم «ونتر» اعلام کرد که کدهای ژنتیکی

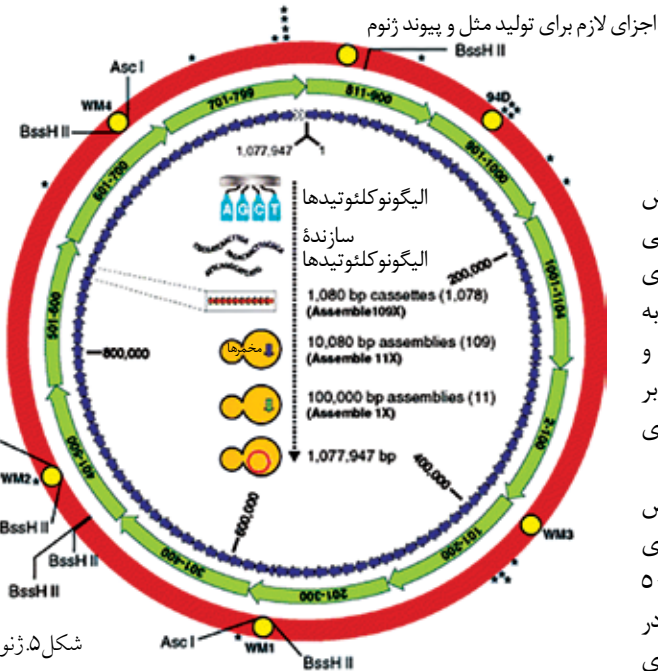
سلول مصنوعی خود را به تعداد بسیار کمی از ژن‌های اساسی مورد نیاز برای زنده نگه داشتن آن رسانده‌اند. این اقدام به‌عنوان اولین قدم در فرایند بی‌پایان از ایجاد و بازنویسی کدهای زندگی، موفقیت بزرگی بود. در دسامبر ۲۰۱۷ «ونتر» در سرمقاله‌ای در واشنگتن‌پست نوشت: «جهش‌های اخیر در علوم زیستی، همراه با تحلیل کلان‌داده‌ها ما را به انقلابی در پزشکی سوق داده است. ما نه تنها آموخته‌ایم چگونه کدهای ژنتیک را بخوانیم و بنویسیم، بلکه اکنون می‌توانیم آن را به شکل دیجیتال درآوریم و با آن زندگی مصنوعی بسازیم. این باعث می‌شود که گونه انسان از نظر تئوری، دست به طراحی زیستی بزند. ما می‌توانیم نرم‌افزار DNA را بنویسیم، آن را به زبان رایانه تبدیل کنیم و تغییرات نامحدودی از توالی‌های ژن‌ها را ایجاد کنیم».

با افزایش قدرت محاسباتی، هزینه تولید ژنوم کامل انسان کاهش می‌یابد و گام‌های ما سرعت می‌گیرند. گفته می‌شود که این ضرب‌المثل چینی از «لائوتسه» دو هزار و پانصد سال پیش است برای پیمودن هزار مایل به حدود سیصد ساعت زمان نیاز است. امروزه، فرزندان لائوتسه می‌توانند هزار مایل را در دوازده ساعت با خودرو، چهار ساعت با قطار، دو ساعت با هواپیما و سه دقیقه و نیم با سفینه فضایی در مدار، پیمایند. سفر هزار مایلی هم با یک قدم آغاز می‌شود، اما سرعت سفر می‌تواند پس از آغاز افزایش یابد.

«پروژه نوشتن ژنوم»^{۱۵}، یکی از نمونه‌های قابل توجه این تغییر پرشتاب است که در صدد جمع آوری ۱۰۰ میلیون دلار برای تولید ژنوم کامل انسان است، با سنتز ژنوم جانداران ساده‌تر شروع شده؛ اما به سوی پیچیدگی بیشتر ایجاد زنجیره کدهای ژنتیک انسانی به پیش می‌رود [۱۴].

در صورت تأمین بودجه و حتی موفقیت حداقلی، این ابتکار به دانشمندان کمک می‌کند تا ژنتیک پیچیده و سامانه‌های مرزی اکوسیستم زیست‌شناسی را بهتر بشناسند. این درک در مدتی طولانی‌تر، به نسل‌های آینده کمک خواهد کرد تا حیات را مهندسی و در نهایت ایجاد کنند. تبدیل زندگی انسان به فناوری اطلاعات به سرعت در حال انجام است: خواندن، نوشتن و هک کردن.

**مانه تنها آموخته‌ایم
چگونه کدهای ژنتیک
را بخوانیم و بنویسیم،
بلکه اکنون می‌توانیم
آن را به شکل دیجیتال
درآوریم و با آن زندگی
مصنوعی بسازیم**



شکل ۵. ژنوم مایکوپلازما مایکوتیدز

اگر نوزادی را از هزار سال پیش به امروز بیاوریم، تقریباً شبیه ما خواهد بود؛ اما اگر کودکی را متعلق به هزار سال بعد است به امروز برگردانیم، سالم‌تر، قوی‌تر، باهوش‌تر و تنومندتر از انسان‌های امروزی خواهد بود و به احتمال زیاد بسیار طولانی‌تر از انسان‌های امروزی زندگی خواهد کرد.

انقلاب‌های محاسباتی، یادگیری ماشینی، هوش مصنوعی، فناوری نانو، زیست‌فناوری و ژنتیک، همگی امروزه نام‌های مختلف دارند؛ اما این فناوری‌های مختلف جریان‌هایی هستند که همگرا و سپس به یک آبروج جزر و مدی انقلابی تبدیل می‌شوند و معنی انسان بودن را می‌شود و با خود می‌برد. اگر بر این موج سوار شویم، شاید تنها محدودیتی که برای دور شدن خواهیم داشت، تخیل جمعی ما باشد. به‌عنوان مثال، «کریستوفر میسون»^{۱۶}، متخصص ژنتیک دانشکده پزشکی «ویل کورنل»^{۱۷} با همکاری ناسا در حال کار روی «برنامه ده مرحله‌ای ۵۰۰ ساله برای بقای گونه انسان روی کره زمین، در فضا و در سایر سیارات» و ساختن «پرتله‌های مولکولی یکپارچه از ژنوم‌ها، اپی‌ژنوم‌ها، رونوشت‌ها، ترانسکریپتوم‌ها و متازنوم‌ها برای فضانوردانی است که به ایجاد مبنای مولکولی و دفاع ژنتیک برای سفر طولانی مدت فضایی انسان کمک می‌کنند» [۱۵]. سفینه فضایی آینده ژنتیک ما از هم‌اکنون در حال بارگیری است.

پی‌نوشت‌ها

1. Niemann-Pick Type C
2. CRISPR
3. adenine base editor
4. OpenWorm
5. chimera
6. Leonard Bailey
7. Stephanie Fae Beauclair (Baby Fae)
8. San Diego's Salk Institute
۹. رقابت بین‌المللی ماشین‌های مهندسی‌شده ژنتیکی؛ رشد آموزش زیست‌شناسی، زمستان ۱۳۹۷.
10. The International Genetically Engineered Machine
11. BioBricks
12. Richard Kitney
13. Craig Venter
14. Mycoplasma mycoides
15. Genome Project-write (GP-write)
16. Christopher Mason
17. Weill Cornell Medical College

منابع

1. David Cyranoski and Sara Reardon, "Chinese Scientists Genetically Modify Human Embryos," Nature, April 22, 2015, <https://www.nature.com/news/chinese-scientists-genetically-modify-human-embryos-1.17378>.
2. Emily Mullin, "CRISPR 2.0 Is Here, and It's Way More Precise," MIT Technology Review, October 25, 2017, <https://www.technologyreview.com/s/609203/crispr-20-is-here-and-its-way-more-precise/>.
3. Nicole M. Gaudelli et al., "Programmable Base Editing of A•T to G•C in Genomic DNA without DNA Cleavage," Nature 551 (2017): 464–471, <http://evolve.harvard.edu/138-ABE.pdf>.
4. Dennis Normile, "CRISPR Bombshell: Chinese Researcher Claims to Have Created Gene-Edited Twins," Science, November 26, 2018, <https://www.sciencemag.org/news/2018/11/crispr-bombshell-chinese-researcher-claims-have-created-gene-edited-twins>.
5. <http://www.openworm.org/>
6. Lucy Black, "A Worm's Mind in a Lego Body," I Pro-

اگر کودکی را متعلق به هزار سال بعد است به امروز برگردانیم، سالم‌تر، قوی‌تر، باهوش‌تر و تنومندتر از انسان‌های امروزی خواهد بود و به احتمال زیاد بسیار طولانی‌تر از انسان‌های امروزی زندگی خواهد کرد

grammer, November 16, 2014, <http://www.i-programmer.info/news/105-artificial-intelligence/7985-a-worms-mind-in-a-lego-body.html#>.

7. Human Cell Atlas, <https://www.humancellatlas.org/>.

8. Nicola Davis, "Breakthrough as Scientists Grow Sheep Embryos Containing Human Cells," The Guardian, February 17, 2018, <https://www.theguardian.com/science/2018/feb/17/breakthrough-as-scientists-grow-sheep-embryos-containing-human-cells>.

9. Registry of Standard Biological Parts, http://parts.igem.org/Main_Page.

10. The Free Genes Project, <https://biobricks.org/freegenes/>.

11. Onkar Sumant, "Synthetic Biology Market by Products (DNA Synthesis, Oligonucleotide Synthesis, Synthetic DNA, Synthetic Genes, Synthetic Cells, XNA) and Technology (Genome Engineering, Microfluidics Technologies, DNA Synthesis & Sequencing Technologies): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2013–2020," March 2014, <https://www.alliedmarketresearch.com/synthetic-biology-market>; "The Global Synthetic Biology Market Is Projected to Grow at a CAGR of 19.9%," PR Newswire, January 5, 2018, <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-global-synthetic-biology-market-is-projected-to-grow-at-a-cagr-of-199-300578132.html>.

12. Steven Cerier, "Synthetic Biology's 'Promise and Potential' Capture Investor Attention." Genetic Literacy Project, May 8, 2018, accessed May 8, 2018, https://geneticliteracyproject.org/2018/05/08/synthetic-biologys-promise-potential-investor-attention/?mc_cid=9b36f13d19&mc_eid=6d7f502b6d.

13. Robert F. Service, "Synthetic Microbe Lives with Fewer Than 500 Genes," Science, December 9, 2017, accessed May 8, 2018, <http://www.sciencemag.org/news/2016/03/synthetic-microbe-lives-fewer-500-genes>.

14. Importantly, the HGP-write scientists stressed the ethical consideration of this initiative. Jef D. Boeke et al., "The Genome Project-Write," Science 353 no. 6295 (July 8, 2016): 126–127, <http://science.sciencemag.org/content/353/6295/126>.

15. The Mason Lab, <http://www.masonlab.net/>.