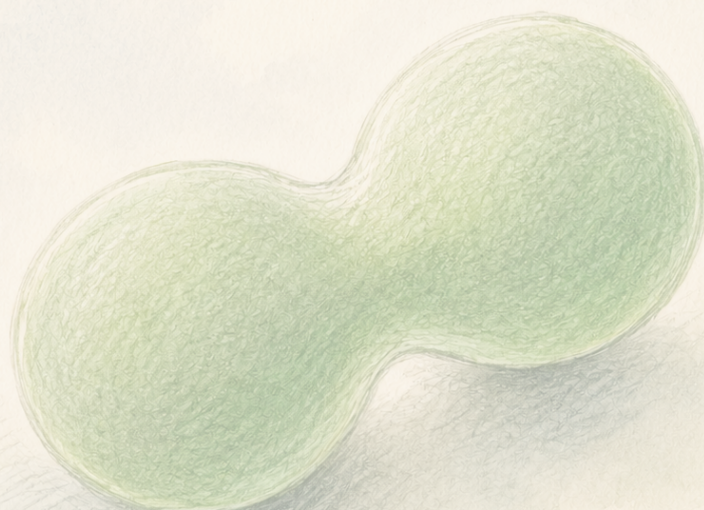




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

سلولی مصنوعی که غذا می گیرد، رشد می کند و تقسیم می شود — گامی جدی، اما نه زندگی ساخته شده از صفر

گروهی در *Minnesota of University* یک قطره چربی با ژنومی حدود ۹۰,۰۰۰ باز گزارش می کنند که غذا می گیرد، DNA خود را کپی می کند، رشد می کند و طی پنج نسل تقسیم می شود؛ یک جهش مفید وارد شده نیز با انتخاب گسترش می یابد. این پیشرفتی واقعی در ساخت سلول از اجزای خالص شده و تعریف شده است. اما هنوز داوری هم نمانده؛ نمی تواند ماشین پروتئین سازی یا متابولیسم خودش را بسازد؛ اجزایش مولکول های زیستی خالص شده اند نه مواد ساده مونتاژ شده از صفر؛ و — به گفته خود نویسندگان — انتخاب مشاهده شده تکامل داروینی خودبه خودی نیست. نسخه تمیز «نخستین سلول زنده ساخته شده از ماده غیرزنده» نیست.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication*, Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) — University of Minnesota

داستان «اولین سلول مصنوعی»، وقتی آن را به قطره‌ها برمی‌گردانیم

تیترا عظیم‌اند: نخستین سلول مصنوعی جهان با چرخه زندگی کامل، زندگی ساخته‌شده از ماده غیرزنده، «لحظه اسپونتیک» برای زیست‌شناسی. خود مقاله آرام‌تر است و راستش از شعارها جالب‌تر. گروهی در Minnesota of University یک قطره چربی میکروسکوپی گزارش می‌کنند — از همان جنس حباب‌های چرب که غشای سلول‌ها از آن ساخته می‌شود — که مجموعه‌ای از دستورهای ژنتیکی را حمل می‌کند و می‌تواند با ادغام با قطره‌های کوچک‌تر تغذیه‌کننده غذا بگیرد، آن دستورها را کپی کند، رشد کند و در چند دور به قطره‌های دختر تقسیم شود. در یک آزمایش، تغییری مفید در دستورها در جمعیت پخش می‌شود، چون قطره‌هایی که آن را دارند سریع‌تر تکثیر می‌شوند.

این در معنایی مشخص و صادقانه یک پیشرفت واقعی است: ساخت یک سامانه شبیه سلول از پایین به بالا، از اجزای شناخته‌شده، و واداشتن حرکت‌های پایه چرخه سلولی به کارکردن در کنار هم و در یک جا. اما این همچنین یک پیش‌چاپ است که هنوز دآوری هم‌تا نشده و — به گفته خود نویسندگان — نه یک جاندار خودکفا است و نه تکامل داروینی خودبه‌خودی. نسخه تمیز داستان «زندگی از صفر ساخته شد» نیست. این است: برای نخستین بار، پژوهشگران یک برنامه کامل چرخه سلولی را درون قطره‌ای مصنوعی و کاملاً تعریف‌شده اجرا کردند، با استفاده از اجزای زیستی خالص‌شده.

SpudCell: evidence chain, not a hero cell

The result is a controlled, defined synthetic system with cell-cycle behaviours. The boundary matters as much as the achievement.

DEMONSTRATED IN THE PREPRINT

Feeds by fusion

supply droplets bring in fresh material

Copies DNA

Phi29 enzyme replicates the genome

Grows and splits

five-cycle assay uses mechanical division

Selection can act

an introduced faster-feeding variant spreads

STILL REQUIRES OUTSIDE SUPPORT

Purified machinery

ribosomes and enzymes are supplied

Supply droplets

small molecules, lipids and fresh parts

Division has two levels

mechanical cycle vs gene-driven add-on

Gene-driven split still

needs help
streptavidin + linker added by hand

Do not merge these:

The repeated five-generation result used a reliable mechanical split.

The more cell-like gene-driven split was separate, lower-yield and externally assisted.

BOUNDARY

Reconstituted cell-cycle behaviours in a defined synthetic system; not an autonomous living cell.

Also not shown: simple chemistry assembled from zero, spontaneous Darwinian evolution, or robust genome inheritance.

Original diagram — The Clean Paper · CC BY 4.0

زنجیره شواهد، نه یک «سلول قهرمان». ردیف بالا چیزی است که مقاله نشان می‌دهد: قطره‌ای تعریف‌شده که غذا می‌گیرد، ژنومش را کپی می‌کند، رشد می‌کند و طی پنج نسل تقسیم می‌شود، و یک تغییر مفید وارد شده با انتخاب گسترش می‌یابد. ردیف میانی چیزهایی است که هنوز از بیرون لازم دارد: ریزوم‌ها و آنزیم‌های خالص‌شده، قطره‌های تأمین‌کننده، و — برای تقسیم هدایت‌شده توسط ژن — مواد اضافی که دستی اضافه می‌شوند. ردیف پایین مرز ادعا است: این بازسازی رفتار چرخه سلولی در یک سامانه مصنوعی تعریف‌شده است، نه سلول زنده خودمختار و نه تکامل خودبه‌خودی.

نویسندگان چه کردند

از ظرف شروع کنیم. «سلول مصنوعی» یک لیپوزوم است — قطره‌ای که با همان نوع لایه چربی‌ای پوشانده شده که سلول‌های واقعی را احاطه می‌کند. گروه درون آن دو چیز قرار داد: مجموعه‌ای از دستورهای ژنتیکی، و یک کیت کوچک برای خواندن آن دستورها و ساخت پروتئین.

دستورها ژنومی حدود ۹۰,۰۰۰ حرف DNA (90 kbp) هستند که میان هفت حلقه کوچک (پلاسمید) تقسیم شده‌اند. کیت پروتئین‌سازی از هیچ اختراع نشده است. این یک مخلوط تعریف‌شده از اجزای فعالِ خالص‌شده و برگرفته از زیست‌شناسی است — ریپوزوم‌ها، آنزیم‌ها و بقیه ماشین پروتئین‌سازی — که با مقدارهای مشخص کنار هم قرار داده شده‌اند. (در این حوزه، این مخلوط بازسازی‌شده و کاملاً مشخص PURE نام دارد. «از نظر شیمیایی تعریف‌شده» در این جا یعنی هر ماده شناخته و اندازه‌گیری شده، نه این که از مواد شیمیایی ساده ساخته شده باشد.)

با این قطره، نویسندگان نشان دادند که می‌توان گام‌های پایه چرخه سلولی را اجرا کرد. چهار کار مرتبط انجام دادند.

نخست، کاری کردند سلول خودش تغذیه شود. قطره با ادغام شدن با لیپوزوم‌های کوچک تر تأمین‌کننده («feeder») ماده تازه می‌گیرد. سیگالی که اجازه ادغام را می‌دهد یک پروتئین غشایی است که خود سلول از روی ژنومش می‌سازد — پس تغذیه توسط ژن‌های خود سلول روشن می‌شود، نه این که پژوهشگر در هر دور آن را دستی فعال کند.

دوم، کاری کردند DNA خودش را کپی کند، با استفاده از آنزیم همانندسازی ویروسی Phi29 که دستور ساختش در ژنوم قرار داده شده بود.

سوم، کاری کردند رشد کند و تقسیم شود — و تقسیم را به دو روش متفاوت انجام دادند، تفاوتی که مهم است (پایین تر می‌آید).

چهارم، انتخاب را نشان دادند. تغییری در ژنوم وارد کردند که باعث می‌شود سلول سریع تر تغذیه و رشد کند؛ سپس نشان دادند این سلول‌های سریع تر بیشتر زادگان تولید می‌کنند و جمعیت را می‌گیرند، به خصوص وقتی غذا کم است.

چه پیدا کردند

چرخه کامل کنار هم اجرا می‌شود. طی پنج «نسل»، قطره‌ها به صورت یک روال تکرارشونده غذا گرفتند، DNA خود را تکثیر کردند، رشد کردند و تقسیم شدند، نه مجموعه‌ای از نمایش‌های یک‌باره و جدا. کارکردن این مراحل در یک سامانه تعریف‌شده و پیوندشان با بیان ژن خود سلول، نتیجه مرکزی مقاله است.

تغذیه و تقسیم می‌توانند تحت هدایت ژن باشند. سلول می‌تواند پروتئینی را بسازد که تغذیه خودش را راه می‌اندازد و — در نمایی جداگانه با بازده کمتر که هنوز به مواد اضافی دستی نیاز دارد — پروتئینی را که تقسیم خودش را هدایت می‌کند. این قدمی است به سوی سامانه‌ای که بیشتر بر دستورها خودش تکیه کند تا بر دست پژوهشگر.

یک تغییر مفید با انتخاب گسترش می‌یابد. نوعی با «کلید روشن» قوی تر برای پروتئین تغذیه (promoter) فعال تر) سریع تر رشد می‌کند، زادگان بیشتری به جا می‌گذارد و در کمبود منابع نوع اصلی را کنار می‌زند. این پیوند واقعی میان تغییر ژنتیکی و موفقیت تولیدمثل در یک سامانه مصنوعی است.

وراثت کامل نیست. پس از پنج نسل، فقط اقلیتی از سلول‌های بررسی‌شده هنوز مجموعه کامل هر هفت حلقه DNA را داشتند. تقسیم تمیز ژنوم میان قطره‌های دختر هنوز قابل اعتماد نیست.

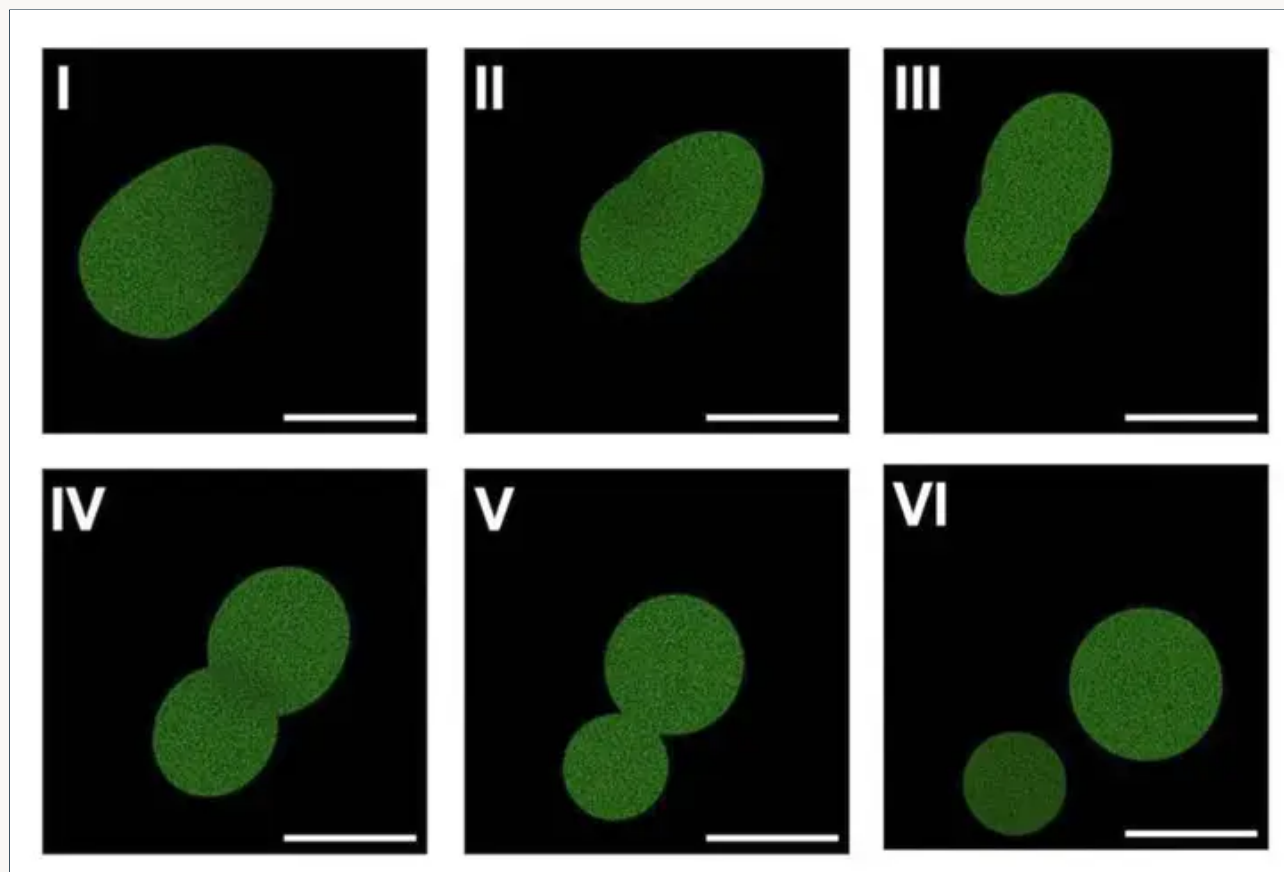
چه چیزی خودش اجرا می‌شود — و چه چیزی نه

واژه‌ای که در تیترا بیشترین بار را حمل می‌کند کامل است. در مقاله، «چرخه سلولی کامل» یعنی گام‌های عملیاتی — تغذیه، همانندسازی، رشد و تقسیم — در کنار هم بازسازی و اندازه‌گیری شده‌اند. معنایش خودکفایی سلول نیست. دو محدودیت مهم‌اند و نویسندگان هر دو را صریح بیان می‌کنند.

نخست، سلول نمی‌تواند ماشین پروتئین‌سازی خودش را بسازد. ریبوزوم‌ها و بیشتر آنزیم‌ها از بیرون تأمین می‌شوند — از قبل خالص شده و به سامانه خورنده می‌شوند — نه این که سلول خودش آن‌ها را بسازد. در چارچوب نویسندگان، سامانه متابولیسم بسیار محدودی دارد و نمی‌تواند ریبوزوم بسازد؛ استقلال متابولیک واقعی به ژنومی بسیار بزرگ‌تر نیاز خواهد داشت. پس قطره چرخه سلولی را اجرا می‌کند، اما زیست‌شیمی خودش را از صفر راه نمی‌اندازد.

دوم، تقسیم معمول مکانیکی است. در آزمایش‌های پنج‌نسل، قطره‌ها با عبور اجباری از یک فیلتر ریز دو نیم می‌شوند — روشی که انتخاب شده چون به‌طور قابل اعتماد قطره‌های دختر می‌دهد. تقسیم بیشتر شبیه سلول و هدایت‌شده توسط ژن (که در آن پروتئین ساخته‌شده توسط سلول جدایش را ایجاد می‌کند) جداگانه نشان داده می‌شود، به مواد اضافی خارجی نیاز دارد (سامانه پل‌زن شامل streptavidin و یک linker و بازده پایین‌تری دارد. نویسندگان صریح‌اند که تقسیم مقاوم‌تر، پربازده‌تر و قابل کنترل‌تر هنوز به کار نیاز دارد — احتمالاً یک اسکلت داخلی مصنوعی که سلول فعلاً ندارد.

به همین دلیل شکل، دو نوع تقسیم را از هم جدا نگه می‌دارد: چرخه پنج‌نسلی تیتراشده از جدایش مکانیکی استفاده می‌کند؛ تقسیم ژن‌محور افزونه‌ای امیدوارکننده اما شکننده است.



دنباله میکروسکوپی فلورسانس از پیش چاپ میزبانی شده توسط نویسندگان که سلولی مصنوعی را نشان می‌دهد که در نمایش تقسیم هدایت شده توسط ژن کشیده می‌شود و به دو قطره جدا می‌گردد. تصویر با وضوح کاهش یافته و تحت use fair برای توضیح نتیجه تقسیم بازنشر شده است؛ نمودار اصلی زنجیره شواهد در بالا این نمایش را از تقسیم مکانیکی استفاده شده در آزمون پنج‌نسل جدا نگه می‌دارد.

Kate Adamala, Adamala Lab Fair use

انتخاب، نه تکامل خودبه‌خودی

نتیجه انتخاب زیباست و ارزش دارد دقیق بیان شود. یک تغییر مفید — «کلید روشن» قوی‌تر تغذیه — باعث می‌شود سلول‌ها سریع‌تر رشد کنند، پس زادگان بیشتری بگذارند و در نتیجه تغییر گسترش یابد. این واقعاً انتخاب است که روی تفاوتی وراثتی عمل می‌کند.

اما تغییر خودش به وجود نیامد. نویسندگان آن را وارد سامانه کردند. به گفته خودشان، جهش مفید به‌طور خودبه‌خودی در جمعیت ظاهر نشد بلکه مصنوعی وارد شد؛ چیزی که با تکامل داروینی طبیعی فرق دارد. ایجاد خودبه‌خودی جهش‌ها به‌عنوان کار آینده مطرح شده است. پس: انتخاب و رقابت بر سر منابع، بله. تکامل خودبه‌خودی و بازپایان، هنوز نه.

این مقاله چه چیزی را اثبات نمی‌کند

- سلولی ساخته شده از شیمی غیرزنده را نشان نمی‌دهد. اجزا اجزای زیستی خالص شده هستند — ریبوزوم‌ها و آنزیم‌های موجودات زنده، آنزیم همانندسازی ویروسی — که در یک قطره تعریف شده موتاژ شده‌اند. «از نظر شیمیایی تعریف شده» یعنی کاملاً مشخص، نه

- سنتز شده از صفر؛ شکل ۱ خود مقاله سلول‌ها را مونتاژ شده از اجزای طبیعی جداگانه خالص شده توصیف می‌کند.
- یک جاندار خودکفا را نشان نمی‌دهد. سلول نمی‌تواند ریبوزوم خودش را بسازد یا متابولیسم خودش را اجرا کند؛ به ماشین تأمین شده و قطره‌های feeder وابسته است.
- تکامل خودبه‌خودی را نشان نمی‌دهد. جهش مفید توسط پژوهشگران وارد شد، نه این که سامانه آن را تولید کند.
- وراثت مقاوم و مطمئن را نشان نمی‌دهد. پس از پنج نسل فقط اقلیتی از سلول‌ها ژنوم کامل را حفظ کردند.
- تقسیم هدایت شده توسط خود سلول به عنوان سازوکار استاندارد را نشان نمی‌دهد. چرخه تکراری پنج‌نسل بر جدایش مکانیکی تکیه دارد؛ تقسیم ژن‌محور بازده کمتر دارد و از بیرون کمک می‌گیرد.
- داوری هم‌تا نشده است. این یک پیش‌چاپ است؛ طبق گزارش Science، مقاله قبلاً توسط Cell رد شده و گفته شده در جای دیگری در حال داوری است. اعداد مشخص را موقت در نظر بگیرید.

قدرت شواهد چقدر است؟

برای ادعای مهندسی مرکزی، شواهد مستقیم و قابل توجه‌اند. نویسندگان مراحل عملیاتی یک چرخه سلولی را گزارش می‌کنند که درون یک قطره مصنوعی تعریف شده در کنار هم اجرا می‌شوند، با بیان ژن خود سامانه جفت شده‌اند و در چند چرخه تکرار شده‌اند. این ادعا محدود، آزمون‌پذیر و با نمایش‌های کمی پشتیبانی می‌شود، حتی اگر کار هنوز پیش‌چاپ باشد.

نبود استقلال متابولیک و تکامل خودبه‌خودی را نباید ادعاهای شکست‌خورده یا کم‌اطمینان دانست. نویسندگان اصلاً آن توانایی‌ها را ادعا نمی‌کنند: صریحاً آن‌ها را غایب یا هدف کار آینده معرفی می‌کنند. این‌ها مرزهای مهم معنای «چرخه سلولی کامل» در این مقاله‌اند، نه شاهی علیه نتیجه‌ای که واقعاً گزارش شده است.

پس عدم قطعیت اصلی این نیست که آیا مطالعه «زندگی خودمختار» ساخته است؛ روشن است که چنین ادعایی ندارد. پرسش این است که عملکرد مهندسی گزارش شده تا چه اندازه مقاوم و تکرارپذیر خواهد بود. تا پیش از داوری هم‌تا و تکرار مستقل، شمار دقیق نسل‌ها، سهم حفظ ژنوم و بازده تقسیم را موقت بدانید. الگوی اطمینان مناسب: بالا برای یکپارچه‌سازی نشان‌داده‌شده عملیات چرخه سلولی، پایین‌تر برای برآوردهای دقیق عملکرد، و خارج از دامنه برای ادعاهای «زندگی»، خودکفایی یا تکامل خودبه‌خودی.

روایت عمومی چه چیزی اضافه می‌کند – و چرا مهم است

شکاف جالب این‌جا میان مقاله و واقعیت نیست؛ میان مقاله و بسته ارتباطی ساخته‌شده پیرامون آن است. خود دست‌نوشته درباره این مرز محتاط است؛ خطر اغراق وقتی ظاهر می‌شود که نتیجه به «سلول زنده»، «سلول خودکفا» یا «زندگی از صفر» فشرده می‌شود. اصلاح این برداشت‌های تیترویسند با کم‌ارزش کردن مقاله به خاطر ادعاهایی که اصلاً ندارد فرق می‌کند.

زبان خود دست‌نوشته سنجیده است. کار را گامی به سوی حداقل اجزای لازم برای زندگی، یک «شاسی» احتمالی برای سامانه‌های آینده و «پایه‌ای برای جانداران کاملاً مصنوعی» می‌نامد – و کاربردهای بزرگ را با واژه‌هایی مانند در نهایت و ممکن است محدود می‌کند. بیانیه مطبوعاتی Minnesota of University در عوض با «اولین سلول مصنوعی جهان با چرخه زندگی کامل» آغاز می‌کند که «می‌تواند زیست‌شناسی را متحول کند»، سلول را ساخته‌شده از اجزای غیرزنده توصیف می‌کند و کاربردهایی در پزشکی، مواد و صنعت فهرست می‌کند. هشدارها وجود دارند – اما پس از چارچوب «جهش بزرگ» می‌آیند، جایی که دیگر نمی‌توانند نقش ترمز را همان‌قدر خوب بازی کنند.

برای توضیح این موضوع لازم نیست سوءنیتی فرض کنیم. اشتراک گذاری نتایج پیش از داوری می‌تواند انتخابی مشروع و حتی سخاوتمندانه

باشد: به آزمایشگاه‌های دیگر اجازه می‌دهد روش‌ها را زودتر بررسی و برای بازتولید نتیجه تلاش کنند؛ همان دلیلی که نویسندگان می‌آورند. رد شدن از یک مجلهٔ پرآوازه نیز معنایش ضعیف بودن کار نیست – نتایج جاه‌طلبانه و پرریسک از نظر بازپس‌گیری واقعاً سخت منتشر می‌شوند و ترس از پیشی گرفتن دیگران واقعی است. این فشارها انسانی و قابل فهم‌اند.

اما دقیقاً چون ارتباطات این قدر پرصدا و پیش از داوری هم‌تا انجام شده، وظیفهٔ دقت بیشتر می‌شود، نه کمتر. ترتیب مهم است. بیانیهٔ مطبوعاتی ابتدا حداکثری‌ترین خوانش را انتخاب می‌کند و محدودیت‌ها را بعد می‌آورد. نسخهٔ تمیز برعکس عمل می‌کند: نخست شواهد و وضعیت آن را می‌گوید، بعد جاه‌طلبی را. این عادت – شواهد و وضعیت پیش از جاه‌طلبی – چیزی است که خواننده می‌تواند برای «جهش بزرگ» بعدی هم با خود ببرد.

خلاصهٔ تمیز

گروهی از Minnesota of University یک سلول مصنوعی کاملاً تعریف شده گزارش می‌کنند: قطره‌ای چرب با ژنومی حدود ۹۰،۰۰۰ باز و یک سامانهٔ خالص شدهٔ پروتئین‌سازی که با ادغام با قطره‌های تأمین‌کننده غذا می‌گیرد، DNA خود را کپی می‌کند، رشد می‌کند و طی پنج نسل تقسیم می‌شود. آن‌ها نشان می‌دهند یک تغییر ژنتیکی مفید که پژوهشگران وارد کرده‌اند با انتخاب در جمعیت پخش می‌شود، و هم تغذیه و هم تقسیم می‌توانند به وسیلهٔ ژن‌های خود سلول هدایت شوند. اجزاء، مؤلفه‌های زیستی خالص شده‌اند که در سامانه‌ای تعریف شده مونتاژ شده‌اند، نه شیمی‌ای که از صفر ساخته شده باشد؛ سلول نمی‌تواند ریبوزوم خودش را بسازد یا متابولیسم خودش را اجرا کند؛ تقسیم روتین در چرخهٔ پنج‌نسلی مکانیکی است، در حالی که تقسیم ژن‌محور بازده کمتری دارد و از بیرون کمک می‌گیرد؛ جهش مفید وارد شده نه این که خودبه‌خود پدید آمده باشد؛ و وراثت ژنوم کامل ناقص است. این کار پیش‌چاپ است و هنوز داوری هم‌تا نشده.

بررسی بی‌پرده

مقاله چه نشان می‌دهد: یک قطرهٔ مصنوعی تعریف شده که غذا می‌گیرد (با ادغام ژنتیکی هدایت شده با قطره‌های تأمین‌کننده)، ژنوم حدود 90 kbp خود را همانندسازی می‌کند، رشد می‌کند و طی پنج نسل تقسیم می‌شود؛ یک نمایش جداگانه از تقسیم ژن‌محور؛ و انتخاب یک جهش مفید وارد شده، از جمله رقابت در کمبود منابع.

چه چیزی تا داوری هم‌تا موقت می‌ماند: شمار دقیق نسل‌ها، بازده تقسیم، سهم سلول‌هایی که ژنوم کامل را حفظ می‌کنند، و میزان مقاومت بودن و تکرارپذیری چرخهٔ کامل در آزمایشگاه‌های دیگر.

چه چیزی را نشان نمی‌دهد: سلولی ساخته شده از شیمی غیرزنده؛ جانداري خودکفا؛ جهش خودبه‌خودی یا تکامل دارویی بازپایان؛ وراثت مقاوم ژنوم؛ تقسیم هدایت شده توسط سلول به عنوان سازوکار استاندارد؛ یا آمادگی کاربردهای پزشکی، مواد و صنعتی مطرح شده در مطالب مطبوعاتی.

محدودیت‌های اصلی: هنوز داوری هم‌تا نشده؛ استقلال متابولیک وجود ندارد (ریبوزوم‌ها و آنزیم‌ها تأمین می‌شوند)؛ چرخهٔ تیتراژ شده از تقسیم مکانیکی استفاده می‌کند؛ تقسیم ژن‌محور بازده کمتر و اجزای افزوده شده دارد؛ وراثت ژنوم ناقص است.

یک خوانندهٔ عمومی چقدر باید مطمئن باشد؟ اطمینان نسبتاً بالا به نتیجهٔ مهندسی مرکزی: نویسندگان گام‌های عملیاتی چرخهٔ سلولی را درون یک قطرهٔ مصنوعی تعریف شده کنار هم اجرا کرده‌اند، هرچند کار هنوز منتظر داوری است. اطمینان متوسط تا پایین به شمار دقیق نسل‌ها، بازده تقسیم و نرخ وراثت تا زمانی که داوری و بازتولید مستقل انجام شود. مقاله ادعا نمی‌کند سامانه زنده، خودکفا یا خودتکامل‌یاب است؛ این‌ها مرز دامنه‌اند، نه یافته‌های کم‌اطمینان. موضع مناسب: گامی چشمگیر در ساخت سلول‌ها از اجزای شناخته شده، نه خلق

زندگی.

به روزرسانی‌های پس از انتشار

• توضیح • 23-07-2026

صورت‌بندی اطمینان روشن‌تر شد: سلول زنده، خودکفا و خودتکامل‌یاب خارج از ادعاهای مقاله‌اند، نه یافته‌های کم‌اطمینان. ارزیابی نتیجه مهندسی مرکزی تغییر نکرده است.

منابع

And Growth Of Capable Cell Synthetic Defined Chemically 'A — Adamala & Engelhart Hoog, Cash, Deich, Gaut,
2026 peer-reviewed), (not preprint author-hosted Replication',
<https://biotic.org>

(2026) preprint synthetic-cell the of coverage news — Science
<https://doi.org/10.1126/science.zwa8dvz>

release press — Minnesota of University
<https://twin-cities.umn.edu/news-events/worlds-first-synthetic-cell-complete-life-cycle-c>