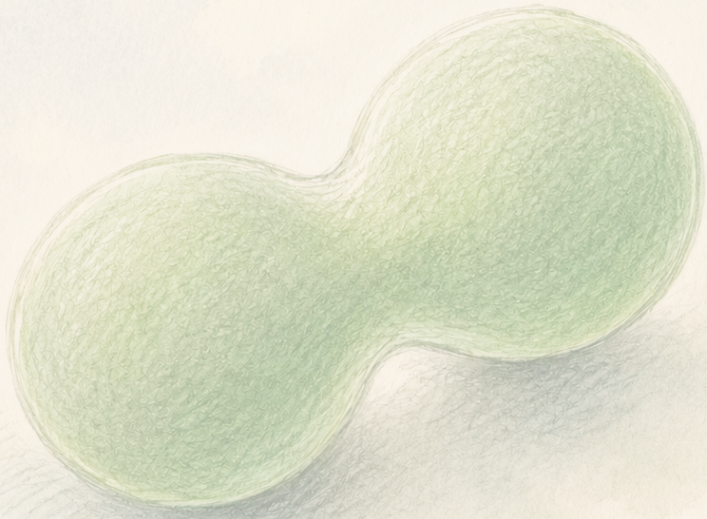


The
CLEAN PAPER

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

خلية اصطناعية تتغذى وتنمو وتنقسم — خطوة جدية، لكنها ليست حياة بُنيت من الصفر

يصف فريق من جامعة مينيسوتا قطرة دهنية تحمل جينوماً من نحو 90,000 قاعدة، تتغذى وتنسخ *DNA* وتنمو وتنقسم عبر خمسة أجيال، مع انتشار طفرة مفيدة أُدخلت عمداً بفعل الانتقاء. وهذا تقدم حقيقي في بناء خلايا من أجزاء محددة ومنقاة. لكنه لم يخضع لمراجعة الأقران، ولا يستطيع صنع آلياته البروتينية أو تشغيل استقلابه بنفسه، ومكوناته جزيئات بيولوجية منقاة وليست مواد كيميائية بسيطة جُمعت من الصفر، ووفق كلمات الباحثين أنفسهم، فالانتقاء ليس تطوراً داروينياً تلقائياً. الصياغة الدقيقة ليست «أول خلية حية بُنيت من مادة غير حية».

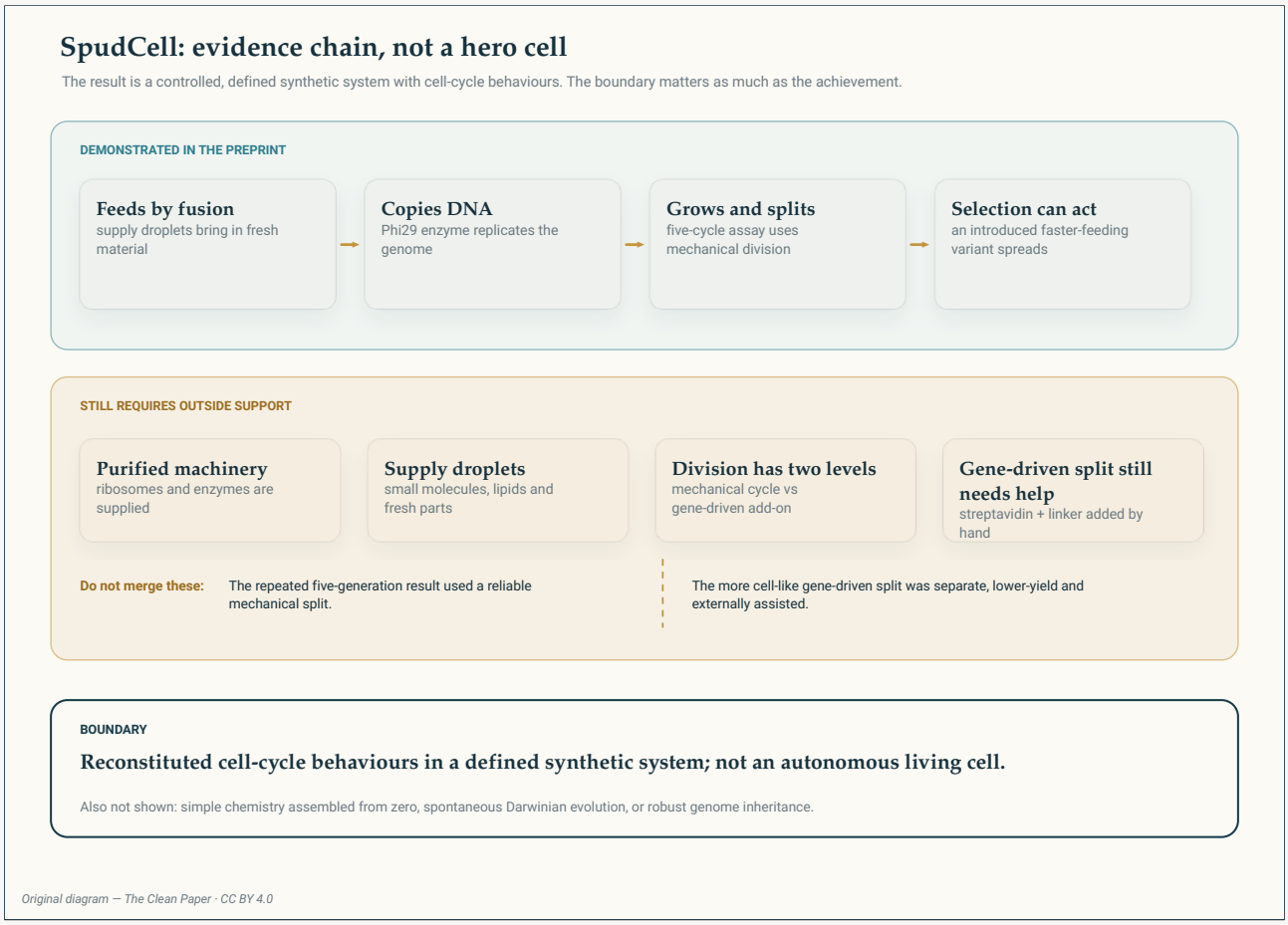
Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

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Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) — University of Minnesota

قصة «أول خلية اصطناعية»، بعد اختزالها إلى قطرات

العناوين ضخمة: أول خلية اصطناعية في العالم ذات دورة حياة كاملة، حياة بُنيت من مادة غير حية، «لحظة سبوتنيك» لعلم الأحياء. لكن الورقة التي تقف خلف هذه العناوين أكثر هدوءًا — وبصراحة أكثر إثارة للاهتمام من الشعارات. يصف فريق من جامعة مينيسوتا قطيرة دهنية مجهرية — من النوع نفسه من الفقاعات الدهنية التي تُبنى منها أغشية الخلايا — تحمل مجموعة من التعليمات الجينية، ويمكنها أن تتغذى عبر الاندماج مع قطرات إمداد أصغر، وأن تنسخ تلك التعليمات، وتنمو، وتنقسم إلى قطرات ابنة عبر عدة دورات. وفي إحدى التجارب، انتشر تغيير مفيد في التعليمات داخل الجماعة لأن القطرات التي تحمله تتكاثر بسرعة أكبر.

هذا تقدم حقيقي بمعنى محدد وصريح: بناء نظام شبيه بالخلية من الأسفل إلى الأعلى، من أجزاء معروفة، وجعل الحركات الأساسية لدورة الخلية تعمل معًا في المكان نفسه. لكنه أيضًا مسودة بحثية (preprint) لم تمر بعد بمراجعة الأقران، وهو — بحسب كلمات الباحثين أنفسهم — ليس كائنًا مكتفيًا ذاتيًا ولا مثالًا على تطور دارويني تلقائي. والصياغة الدقيقة ليست «صُنعت الحياة من الصفر». بل: للمرة الأولى، شغّل الباحثون روتين دورة خلوية كاملة داخل قطرة اصطناعية محددة المكونات بالكامل باستخدام أجزاء بيولوجية منقاة.



سلسلة أدلة، لا «خلية بطلة». يوضح الصف العلوي ما تثبته الورقة: قطرة محددة المكونات تتغذى، وتنسخ جينومها، وتنمو وتنقسم عبر خمسة أجيال، مع انتشار تغيير مفيد أُدخل عمدًا بفعل الانتقاء. يوضح الصف الأوسط ما تزال تحتاج إليه من الخارج: ريبوسومات وإنزيمات منقاة، وقطرات إمداد، وللانقسام الذي تقوده الجينات مكونات إضافية تُضاف يدويًا. أما الصف السفلي فهو الحد الفاصل: هذه سلوكيات لدورة خلوية أعيد تركيبها في نظام اصطناعي محدد، وليست خلية حية مستقلة، وليست تطورًا تلقائيًا.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 0.4

ماذا فعل الباحثون؟

لنبدأ بالحاوية. الخلية الاصطناعية هي **ليبوسوم** — قطرة يحيط بها غشاء دهني من النوع نفسه الذي يحيط بالخلايا الحقيقية. وضع الفريق داخلها شيئين: مجموعة من التعليمات الجينية، وعدة مصغرة لقراءة هذه التعليمات وبناء البروتينات.

التعليمات هي جينوم يبلغ نحو **90,000 حرف من DNA** (90 ،(kbp موزعًا على سبع حلقات صغيرة (بلازميدات). أما عدة بناء البروتين فليست مخترعة من العدم. إنها خليط محدد من أجزاء بيولوجية عاملة ومنقاة — ريبوسومات وإنزيمات وبقية آلة تصنيع البروتين — جُمعت بكميات معروفة. (يُسمى هذا الخليط المعاد تركيبه والمحدد بالكامل في المجال .PURE وعبارة «محدد كيميائيًا» هنا تعني أن كل مكوّن معروف ومقاس، لا أنه صُنع من مواد كيميائية بسيطة من الصفر.)

وبهذه القطرة، أظهر الباحثون أنها تستطيع تنفيذ الخطوات الأساسية لدورة الخلية. وربطوا أربع وظائف ببعضها.

أولًا، جعلوها **تتغذى.** تستقبل القطرة مواد جديدة عبر الاندماج مع قطرات إمداد أصغر («ليبوسومات مُغذِّية»). والإشارة التي تسمح بالاندماج هي بروتين غشائي تصنعه الخلية من جينومها نفسه — أي إن التغذية تُشغَّل بواسطة جينات الخلية، لا بإضافة الباحثين للمحفز يدويًا في كل دورة.

ثانيًا، جعلوها **تنسخ DNA الخاص بها** باستخدام إنزيم نسخ فيروسي مستعار (Phi29) مشفر في الجينوم.

ثالثًا، جعلوها **تنمو وتنقسم** — ونفذوا الانقسام بطريقتين مختلفتين، وهو فرق مهم كما سنرى.

رابعًا، أظهروا **الانتقاء.** أدخلوا تغييرًا إلى الجينوم يجعل الخلية تتغذى وتنمو بسرعة أكبر، ثم أظهروا أن هذه الخلايا الأسرع تتكاثر أكثر من غيرها وتسيطر على الجماعة، خصوصًا عندما يقل الغذاء.

ماذا وجدوا؟

الدورة الكاملة تعمل كوحدة مترابطة. خلال خمسة «أجيال»، تغذت القطرات ونسخت DNA ونمت وانقسمت كروتين متكرر، بدلًا من أن تكون كل خطوة عرضًا منفصلًا لمرة واحدة. وجعل هذه الخطوات تعمل في النظام المحدد نفسه، ومقترنة بالتعبير الجيني للخلية، هو النتيجة الأساسية للورقة.

يمكن للجينات أن تقود التغذية والانقسام. تستطيع الخلية تصنيع البروتين الذي يشغّل تغذيتها، كما تستطيع — في عرض منفصل ذي مردود أقل وما زال يحتاج إلى مكونات إضافية تُضاف يدويًا — تصنيع البروتين الذي يقود انقسامها. وهذه خطوة نحو نظام يعمل بتعليماته الخاصة بدلًا من تدخل يد الباحث في كل مرة.

ينتشر تغيير مفيد بفعل الانتقاء. ينمو متغير يحمل «مفتاح تشغيل» أقوى لبروتين التغذية (محفزًا أكثر نشاطًا) بسرعة أكبر، ويترك ذرية أكثر، ويتفوق على النسخة الأصلية عند شح الموارد. هذه صلة حقيقية بين تغيير جيني والنجاح التكاثري داخل نظام اصطناعي.

الوراثة غير مثالية. بعد خمسة أجيال، لم يحتفظ بالمجموعة الكاملة من حلقات DNA السبع سوى أقلية من الخلايا التي حُللت. ولا يزال توزيع الجينوم بصورة نظيفة على القطرات البنات غير موثوق به.

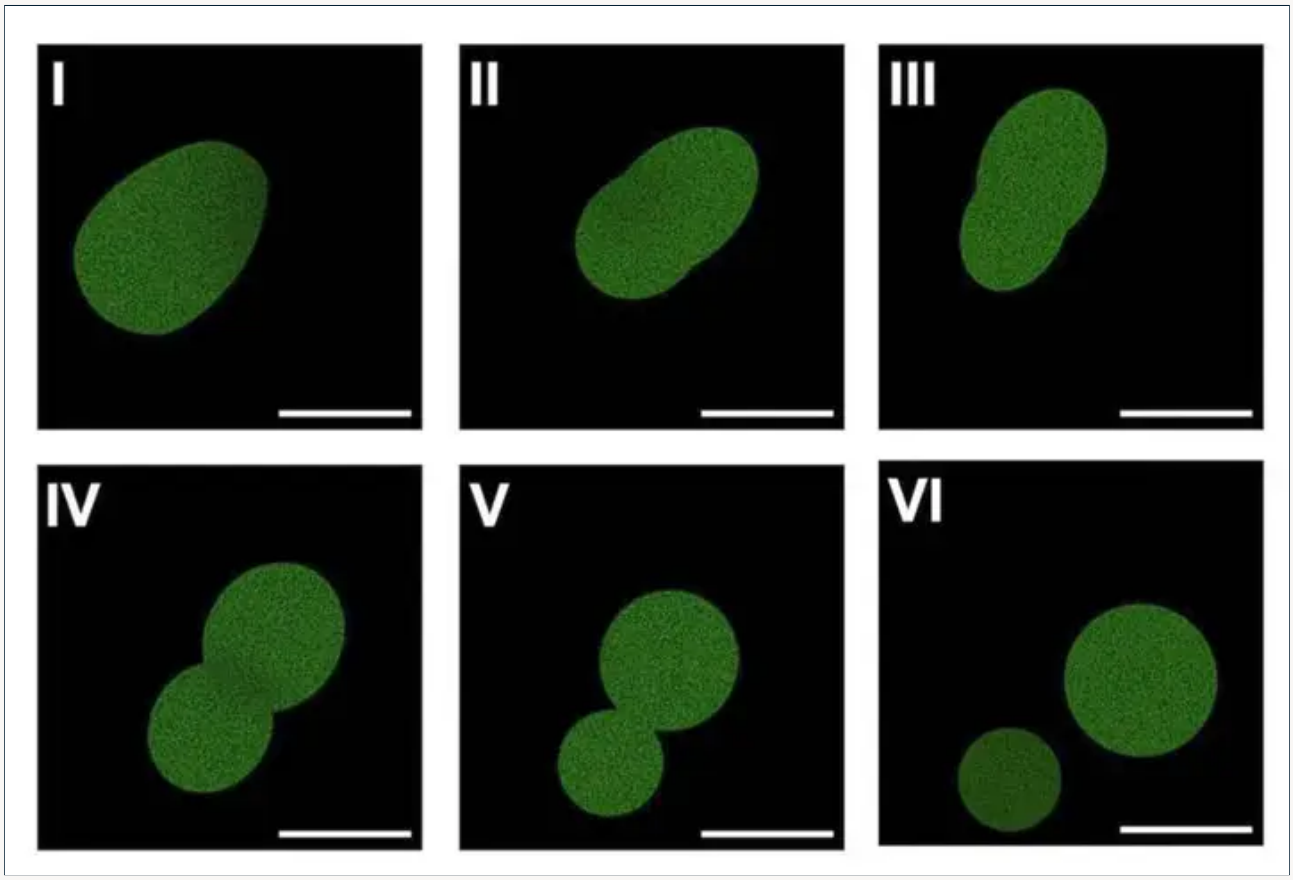
ما الذي يعمل من تلقاء نفسه — وما الذي لا يعمل؟

الكلمة التي تحمل العبء الأكبر في العناوين هي كاملة. في الورقة، تعني «دورة خلوية كاملة» أن الخطوات التشغيلية — التغذية، والنسخ، والنمو، والانقسام — أعيد تركيبها وقياسها معًا. ولا تعني أن الخلية مكتفية ذاتيًا. وهناك حدان مهمان يذكرهما الباحثون بوضوح.

أولًا، الخلية **لا تستطيع صنع آلتها الخاصة لبناء البروتينات.** فالريبوسومات ومعظم الإنزيمات تُزوَّد بها — تُنقّى مسبقًا ثم تُقدّم لها — ولا تصنعها الخلية. ووفق تأطير الباحثين، لا يملك النظام سوى استقلاب محدود جدًا ولا يستطيع صنع الريبوسومات، والاستقلال الاستقلابي الحقيقي سيتطلب جينومًا أكبر بكثير. إذن القطرة تنفذ دورة خلوية، لكنها لا تشغّل كل كيميائها الحيوية من الصفر.

ثانيًا، الانقسام المستخدم بصورة روتينية **ميكانيكي.** في تجارب الأجيال الخمسة، تُقسّم القطرات بدفعها عبر مرشح دقيق — وهي طريقة اختيرت لأنها تنتج قطرات بنات بصورة موثوقة. أما الانقسام الأكثر شبهًا بالخلايا، الذي تقوده الجينات (حيث يدفع بروتين تصنعه الخلية نفسها عملية الانقسام)، فيُعرض بصورة منفصلة، ويحتاج إلى مكونات إضافية من الخارج (نظام جسر يتكون من streptavidin ورابط)، ويعمل بمردود أقل. ويوضح الباحثون أن الوصول إلى انقسام أكثر متانة، وأعلى مردودًا، وقابلًا للتحكم ما زال يحتاج إلى عمل — وربما إلى هيكل داخلي اصطناعي لا تمتلكه الخلية بعد.

ولهذا يفصل الشكل بين نوعي الانقسام: دورة الأجيال الخمسة التي تتصدر النتيجة تستخدم الانقسام الميكانيكي؛ أما الانقسام الذي تقوده الجينات فهو إضافة واعدة لكنها هشة.



تسلسل بالمجهر الفلوري مأخوذ من المسودة التي يستضيفها المؤلفون، يُظهر خلية اصطناعية تستطيل ثم تنفصل إلى قطرتين في عرض الانقسام الذي تقوده الجينات. أُعيد عرض الصورة هنا بدقة مخفضة ضمن الاستخدام العادل للتعليق على نتيجة الانقسام؛ أما مخطط سلسلة الأدلة الرئيسي أعلاه فيفصل هذا العرض عن الانقسام الميكانيكي المستخدم في اختبار الأجيال الخمسة.

Kate Adamala, Adamala Lab Fair use

انتقاء، لا تطور تلقائي

نتيجة الانتقاء أنيقة، وتستحق صياغة دقيقة. تغيير مفيد — «مفتاح التشغيل» الأقوى للتغذية — يجعل الخلايا تنمو بسرعة أكبر، فتنجب عددًا أكبر من الذرية، فينتشر التغيير. هذا بالفعل انتقاء يعمل على اختلاف وراثي.

لكن التغيير لم ينشأ من تلقاء نفسه. الباحثون هم من أدخلوه. وبحسب كلماتهم، لم تظهر الطفرة المفيدة تلقائيًا في الجماعة بل أُدخلت اصطناعيًا، وهو أمر يختلف عن التطور الداروينى الطبيعي؛ ويذكرون السماح بظهور الطفرات تلقائيًا باعتباره عملًا مستقبليًا. إذن: انتقاء ومنافسة على الموارد، نعم. تطور تلقائي مفتوح النهاية، ليس بعد.

ما الذي لا تثبته الدراسة؟

- لا تُظهر **خلية صُنعت من كيمياء غير حية.** المكونات أجزاء بيولوجية منقاة — ريبوسومات وإنزيمات مأخوذة من كائنات حية، وإنزيم نسخ فيروسي — جُمعت داخل قطرة محددة المكونات. «محدد كيميائيًا» يعني أن التركيب معروف بالكامل، لا أنه صُنّع من الصفر؛ ويصف الشكل 1 في الورقة نفسها الخلايا بأنها مجمعة من مكونات طبيعية منقاة كلٌّ على حدة.
- لا تُظهر **كائنًا مكتفيًا ذاتيًا.** لا تستطيع الخلية صنع ريبوسوماتها أو تشغيل استقلابها بنفسها؛ بل تعتمد على الآلات الموردة وعلى قطرات التغذية.
- لا تُظهر **تطورًا تلقائيًا.** الطفرة المفيدة أدخلها الباحثون ولم يولدها النظام.
- لا تُظهر **وراثة متينة.** لم يحتفظ بالجينوم الكامل بعد خمسة أجيال إلا أقلية من الخلايا.
- لا تُظهر أن **الانقسام الذي تقوده الخلية هو الآلية القياسية.** دورة الأجيال الخمسة المتكررة تعتمد على الانقسام الميكانيكي؛ أما الانقسام الذي تقوده الجينات فمردوده أقل وتساعده مكونات خارجية.
- والعمل **لم يخضع لمراجعة الأقران.** إنها مسودة بحثية؛ ووفق تقرير *Science* رُفضت من *Cell* ويُقال إن مراجعتها جارية في مكان آخر. لذلك يجب اعتبار الأرقام المحددة مؤقتة.

ما مدى قوة الأدلة؟

بالنسبة إلى الادعاء الهندسي المركزي، الأدلة مباشرة وذات وزن. يصف الباحثون تشغيل الخطوات العملية لدورة خلوية معًا داخل قطرة اصطناعية محددة المكونات، مرتبطة بالتعبير الجيني للنظام نفسه ومتكررة عبر عدة دورات. هذا ادعاء محدود وقابل للاختبار ومدعوم بعروض كمية، مع أن العمل ما زال مسودة لم تخضع لمراجعة الأقران.

ولا ينبغي التعامل مع غياب الاستقلال الاستقلابي أو التطور التلقائي بوصفهما ادعاءين فاشلين أو منخفضي الثقة. الباحثون لا يدّعون وجود هاتين القدرتين أصلًا؛ بل يصفونهما صراحة بأنهما غائبتان أو هدفان لعمل مستقبلي. وهما حدان مهمان لمعنى «دورة خلوية كاملة» هنا، لا دليلًا ضد النتيجة التي أبلغت عنها الورقة بالفعل.

إذن فموضع عدم اليقين الرئيسي ليس ما إذا كانت الدراسة قد صنعت حياة مستقلة؛ بل مدى متانة الأداء الهندسي المبلغ عنه وقابليته للتكرار. وإلى أن تتم مراجعة الأقران ويأتي تكرار مستقل، ينبغي اعتبار العدد الدقيق للأجيال، ونسبة الاحتفاظ بالجينوم، ومردود الانقسام أرقامًا مؤقتة. الصورة المناسبة للثقة هي: قوية بالنسبة إلى دمج عمليات دورة الخلية كما عُرض، وأقل بالنسبة إلى تقديرات الأداء الدقيقة، وخارج نطاق الدراسة بالنسبة إلى ادعاءات الحياة أو الاكتفاء الذاتي أو التطور التلقائي.

ماذا تضيف القصة الموجهة للجمهور — ولماذا يهم ذلك؟

الفجوة المثيرة للاهتمام هنا ليست بين الورقة والواقع. بل بين **الورقة والحزمة الإعلامية المبنية حولها.** المخطوط نفسه حذر بشأن هذا الحد، ويظهر خطر المبالغة عندما تُضغط النتيجة إلى «خلية حية» أو «خلية مكتفية ذاتيًا» أو «حياة من الصفر». وتصحيح هذه القراءات المبالغ فيها للعناوين يختلف عن تخفيض قيمة الورقة بسبب ادعاءات لم تقدمها أصلًا.

لغة المخطوط نفسها موزونة. فهو يصف العمل بأنه خطوة نحو الحد الأدنى من المكونات اللازمة للحياة، و«هيكل أساس» محتمل للأنظمة المستقبلية، و«أساس لكائنات اصطناعية بالكامل» — ويضع حدودًا للتطبيقات الكبيرة بكلمات مثل في نهاية المطاف وقد. أما البيان الصحفي لجامعة مينيسوتا فيبدأ بعبارة «أول خلية اصطناعية في العالم بدورة حياة كاملة» يمكن أن «تُحدث ثورة» في علم الأحياء، ويصف الخلية بأنها مبنية من مكونات غير حية، ويسرد تطبيقات في الطب والمواد والصناعة. التحفظات موجودة — لكنها تأتي بعد إطار «الاختراق»، حيث يصعب عليها أن تؤدي دور المكابح.

ولا يحتاج أي من هذا إلى افتراض سوء نية. نشر النتائج قبل مراجعة الأقران قد يكون خيارًا مشروعًا، بل كريمًا: فهو يتيح للمختبرات الأخرى فحص الطرق ومحاولة تكرارها في وقت أبكر، وهو السبب الذي يقدمه الباحثون. ورفض العمل من مجلة رفيعة المستوى لا يعني أنه ضعيف — فالنتائج الطموحة التي تحمل مخاطرة عالية بالتراجع عنها يصعب فعلًا نشرها، والخوف من أن يسبقك آخرون حقيقي. هذه ضغوط بشرية ومفهومة.

لكن تحديدًا لأن التواصل كان صاخبًا ووصل قبل مراجعة الأقران، ترتفع مسؤولية الدقة بدل أن تنخفض. فالترتيب هو جوهر المسألة. البيان الصحفي يختار القراءة القصوى أولًا ثم يضيف الحدود لاحقًا. أما الصياغة الأدق فتفعل العكس: تعرض الأدلة وحالتها أولًا، ثم الطموح. وهذه العادة — الأدلة وحالتها قبل الطموح — يستطيع القارئ حملها معه إلى «الاختراق» التالي، لا إلى هذه القصة وحدها.

الخلاصة

يصف فريق من جامعة مينيسوتا خلية اصطناعية محددة المكونات بالكامل: قطرة دهنية تحمل جينومًا من نحو 90,000 قاعدة ونظامًا منقى لبناء البروتين، وتتغذى باندماجها مع قطرات إمداد، وتنسخ DNA، وتنمو وتنقسم عبر خمسة أجيال. ويُظهر الباحثون أن تغييرًا جينيًا مفيدًا أدخلوه بأنفسهم ينتشر في الجماعة بفعل الانتقاء، وأن كلًا من التغذية والانقسام يمكن أن تقوده جينات الخلية. لكن المكونات أجزاء بيولوجية منقاة جُمعت في نظام محدد، وليست كيمياء بُنيت من الصفر؛ والخلية لا تستطيع صنع ريبوسوماتها أو تشغيل استقلابها بنفسها؛ والانقسام الروتيني في تجربة الأجيال الخمسة ميكانيكي، بينما الانقسام الذي تقوده الجينات أقل مردودًا وتساعده مكونات خارجية؛ والطفرة المفيدة أُدخلت بدل أن تنشأ تلقائيًا؛ كما أن وراثة الجينوم الكامل غير مثالية. والعمل مسودة لم تخضع لمراجعة الأقران.

مراجعة بلا تهويل

ما الذي تُظهره الورقة: قطرة اصطناعية محددة تتغذى (عبر اندماج مع قطرات إمداد تُشفّره الجينات)، وتنسخ جينومها البالغ نحو 90 kbp، وتنمو وتنقسم عبر خمسة أجيال، وعرضًا منفصلًا لانقسام تقوده الجينات، وانتقاء طفرة مفيدة أدخلها الباحثون، بما في ذلك المنافسة عند شح الموارد.

ما الذي يظل مؤقتًا إلى حين مراجعة الأقران: العدد الدقيق للأجيال، ومردود الانقسام، ونسبة الخلايا التي تحتفظ بالجينوم الكامل، ومدى متانة الدورة الكاملة وقابليتها للتكرار بين المختبرات.

ما الذي لا تُظهره: خلية بُنيت من كيمياء غير حية، أو كائنًا مكتفيًا ذاتيًا، أو طفرات تلقائية أو تطورًا داروينيًا مفتوح النهاية، أو وراثة متينة للجينوم، أو انقسامًا تقوده الخلية بوصفه الآلية القياسية، أو جاهزية التطبيقات الطبية أو المادية أو الصناعية المذكورة في المواد الإعلامية.

القيود الرئيسية: لا مراجعة أقران بعد، لا استقلال استقلابي (الريبوسومات والإنزيمات موردة)، الدورة الرئيسية تستخدم انقسامًا ميكانيكيًا، الانقسام الذي تقوده الجينات أقل مردودًا ويحتاج إلى مكونات مضافة، ووراثة الجينوم غير مثالية.

ما مقدار الثقة المناسبة للقارئ العام؟ ثقة مرتفعة بصورة معقولة في النتيجة الهندسية الأساسية: شغّل الباحثون الخطوات التشغيلية لدورة خلوية معًا داخل قطرة اصطناعية محددة، مع أن العمل ما زال ينتظر مراجعة الأقران. وثقة متوسطة إلى منخفضة في العدد الدقيق للأجيال ومردود الانقسام ومعدلات الوراثة إلى أن تأتي المراجعة والتكرارات المستقلة. ولا تدعي الورقة أن النظام حي أو مكتفٍ ذاتيًا أو يتطور من تلقاء نفسه؛ هذه حدود للنطاق وليست نتائج منخفضة الثقة. الموقف المناسب: خطوة مبهرة في بناء خلايا من أجزاء معروفة، لا خلق الحياة.

تحديثات ما بعد النشر

- **توضيح · 23-07-2026**

  وُضّح تأطير الثقة: الخلايا الحية والمكتفية ذاتيًا والقادرة على التطور الذاتي تقع خارج ادعاءات الورقة، وليست نتائج منخفضة الثقة. ولم يتغير تقييم النتيجة الهندسية المركزية.

المصادر

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