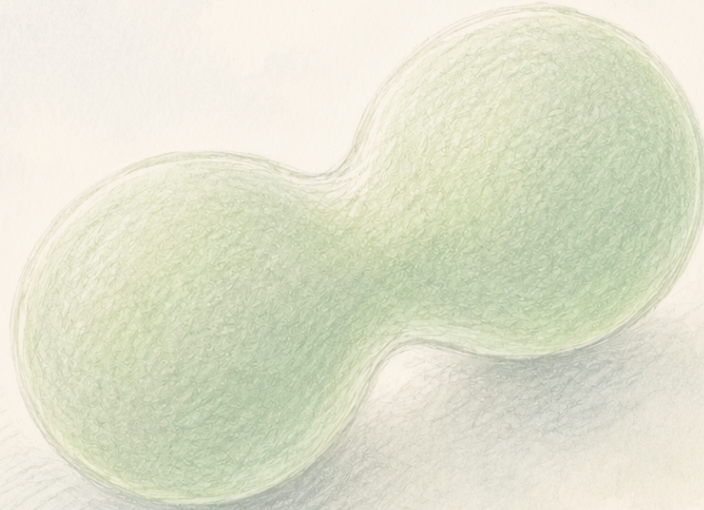




The CLEAN PAPER

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

먹고, 자라고, 분열하는 합성세포—중요한 진전이 지만 무에서 만든 생명은 아니다

미네소타대학교 연구팀은 약 9만 염기의 유전체를 담은 지방질 방울이 먹이를 받고, DNA를 복제하고, 성장하고, 다섯 세대에 걸쳐 분열하며, 연구진이 넣은 유리한 돌연변이가 선택으로 퍼지는 결과를 보고했다. 정의되고 정제된 부품에서 세포를 만드는 실제 진전이다. 하지만 아직 동료 평가를 받지 않았고, 자기 단백질 기계나 대사를 만들 수 없으며, 부품은 단순 화학물질을 무에서 조립한 것이 아니라 정제된 생물학적 분자다. 저자들 자신의 표현대로 선택도 자발적 다윈 진화가 아니다. 깔끔한 버전은 ‘비생명 물질에서 만든 최초의 살아 있는 세포’가 아니다.

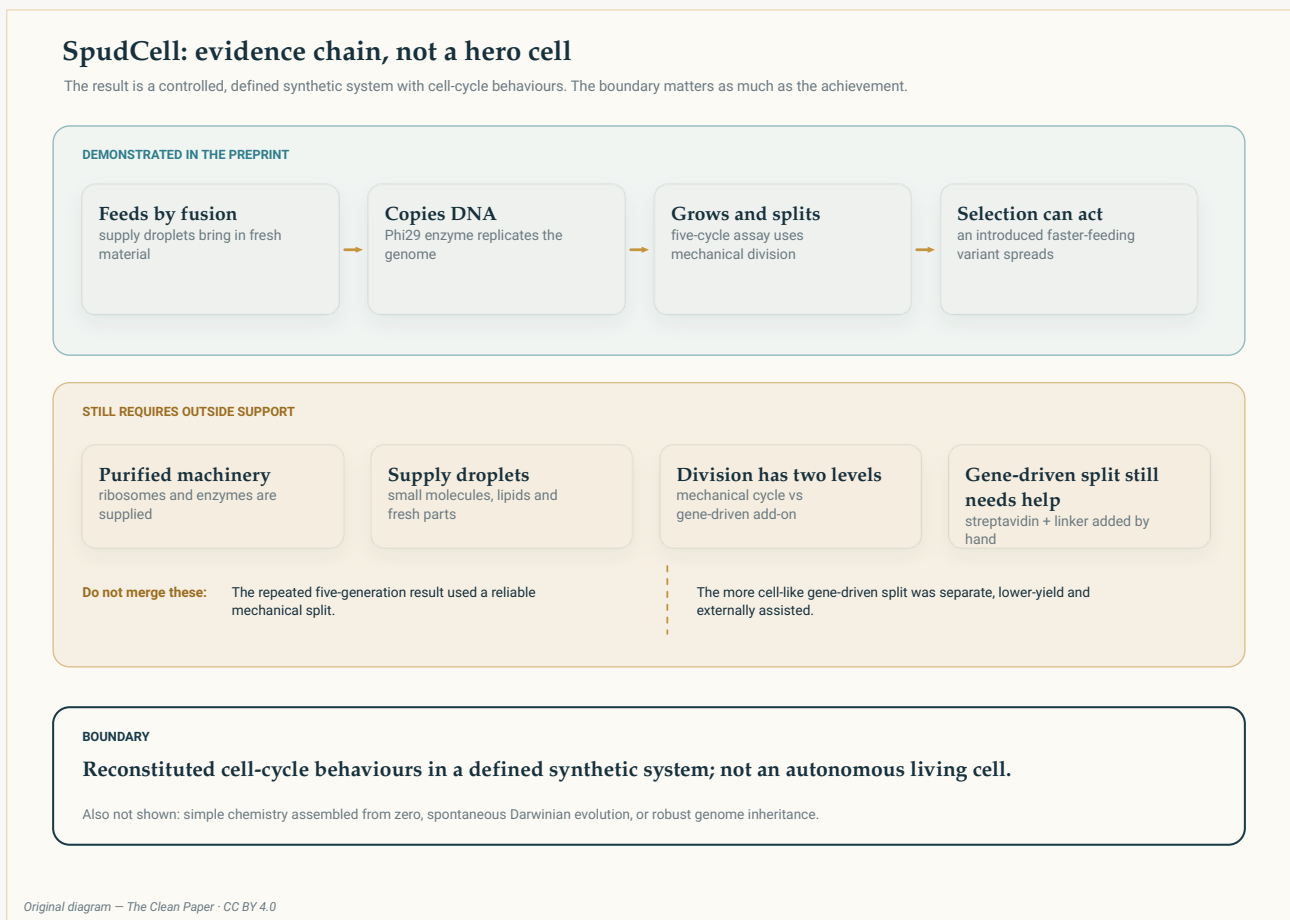
Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

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Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) —University of Minnesota

‘최초의 합성세포’ 이야기를 걷어내고 방울만 남기면

헤드라인은 엄청나다. 완전한 생애주기를 가진 세계 최초 합성세포, 비생명 물질에서 만든 생명, 생물학의 “스푸트니크 순간”. 하지만 그 아래 논문은 훨씬 조용하고, 솔직히 슬로건보다 더 흥미롭다. 미네소타대학교 연구팀은 현미경으로 볼 정도의 지방질 방울을 보고한다. 실제 세포막을 만드는 것과 같은 종류의 기름진 막에 싸여 있고, 유전 지침을 담고 있으며, 더 작은 공급 방울과 융합해 먹이를 받고, 그 지침을 복제하고, 자라고, 딸 방울로 나뉘는 과정을 여러 차례 반복한다. 한 실험에서는 유전 지침에 넣어준 유리한 변화가 그 방울들을 더 빨리 번식시키기 때문에 집단 안에서 퍼졌다.

구체적이고 정직한 의미에서는 실제 진전이다. 알려진 부품을 바닥부터 조립해 세포 같은 시스템을 만들고, 세포주기의 기본 동작들을 한 공간에서 서로 연결해 돌아가게 했다. 동시에 아직 동료평가를 거치지 않은 프리프린트이며, 저자들 자신의 말대로 자급자족 생물도 아니고 자발적 다윈 진화도 아니다. 정확히 말하면 “무에서 생명을 만들었다”는 연구가 아니다. 정제된 생물학적 부품을 사용해 완전히 정의된 합성 방울 안에서 처음으로 완전한 세포주기 루틴을 돌렸다는 것이다.



영웅적인 ‘한 개의 세포’ 그림이 아니라 증거의 연쇄다. 위쪽 줄은 논문이 실제로 보여준 것이다. 정의된 방울이 먹이를 받고, 유전체를 복제하고, 성장하고, 5 세대에 걸쳐 분열하며, 연구진이 도입한 유리한 변화가 선택을 통해 퍼진다. 가운데 줄은 여전히 **외부에서 필요한 것이다**. 정제된 리보솜과 효소, 공급 방울, 그리고 유전자 구동 분열에서는 사람이 추가한 성분이 더 필요하다. 아래 경계는 **무엇이 아닌지**를 말한다. 정의된 합성 시스템에서 재구성한 세포주기 행동이지 자율적인 살아 있는 세포도, 자발적 진화도 아니다.

연구진이 한 일

먼저 용기부터 보자. 합성세포는 **리포솜**이다. 실제 세포를 둘러싼 것과 같은 종류의 지방막으로 감싼 방울이다. 연구팀은 그 안에 두 가지를 넣었다. 유전 지침과, 그 지침을 읽어 단백질을 만드는 작은 키트다.

유전 지침은 약 **9만 글자의 DNA(90 kbp)**로, 일곱 개의 작은 고리인 플라스미드에 나눠 들어 있다. 단백질 제작 키트는 무에서 발명한 것이 아니다. 생물에서 가져와 정제한 실제 작동 부품 — 리보솜, 효소, 단백질 합성에 필요한 나머지 기계 — 을 알려진 양으로 섞은 정의된 혼합물이다. 이 분야에서는 이렇게 재구성되고 구성성분이 모두 명확한 혼합물을 **PURE**라고 부른다. 여기서 “화학적으로 정의됐다”는 말은 모든 성분이 무엇인지 알고 양도 측정했다는 뜻이지, 단순 화학물질에서 전부 합성했다는 뜻이 아니다.

이 방울을 가지고 저자들은 세포주기의 기본 단계를 돌릴 수 있음을 보여줬다. 서로 연결된 네 가지 일을 했다.

첫째, **스스로 먹이를 받게** 했다. 합성세포는 더 작은 공급 리포솜과 융합해 새 물질을 받아들인다. 융합 신호를 만드는 막 단백질은 세포가 자기 유전체에서 직접 만든다. 즉 매 회마다 사람이 먹이 섭취를 커주는 것이 아니라 세포 자신의 유전자가 작동을 켜다.

둘째, 유전체에 암호화된 바이러스 유래 복제 효소 **Phi29**를 이용해 **DNA를 복제**하게 했다.

셋째, **자라고 분열**하게 했다. 그리고 분열을 서로 다른 두 방식으로 구현했는데, 이 차이가 중요하다.

넷째, **선택**을 보여줬다. 세포가 더 빨리 먹고 자라게 하는 유전체 변화를 도입했고, 그런 세포가 더 많은 자손을 남기면서 다른 세포를 제치고 집단에서 우세해지는 것을 보여줬다. 먹이가 부족할수록 차이는 더 컸다.

무엇을 발견했나

전체 주기가 한 시스템에서 **함께 돌아갔다**. 다섯 번의 “세대”에 걸쳐 방울들은 먹이를 받고, DNA를 복제하고, 자라고, 분열하는 루틴을 반복했다. 서로 떨어진 일회성 시연을 나열한 것이 아니다. 같은 정의된 시스템 안에서, 세포 자신의 유전자 발현과 연결된 채 여러 단계가 함께 작동하게 한 것이 논문의 핵심 결과다.

먹이 섭취와 분열을 유전자가 구동할 수 있었다. 세포는 자기 먹이 섭취를 구동하는 단백질을 만들 수 있고, 별도의 더 낮은 수율 시연에서는 자기 분열을 구동하는 단백질도 만들 수 있었다. 다만 후자의 경우 외부에서 추가 성분을 사람이 넣어야 했다. 실험자의 손보다 시스템 자신의 지침에 더 많이 의존하는 방향으로 한 걸음 나아간 것이다.

유리한 변화가 선택으로 퍼졌다. 먹이 섭취 단백질의 “켜짐 스위치”를 더 강하게 만든 변이, 즉 더 활성 높은 프로모터를 가진 세포는 더 빨리 자라고 더 많은 자손을 남겼다. 자원이 부족할 때는 원래형을 경쟁에서 밀어냈다. 합성 시스템 안에서 유전적 변화가 번식 성공과 직접 연결된 진짜 선택 결과다.

유전은 불완전했다. 다섯 세대가 지난 뒤 분석한 세포 가운데 일곱 DNA 고리를 모두 온전히 갖고 있는 세포는 소수뿐이었다. 딸 방울 사이에 유전체를 깔끔하게 나눠주는 과정은 아직 신뢰성이 낮다.

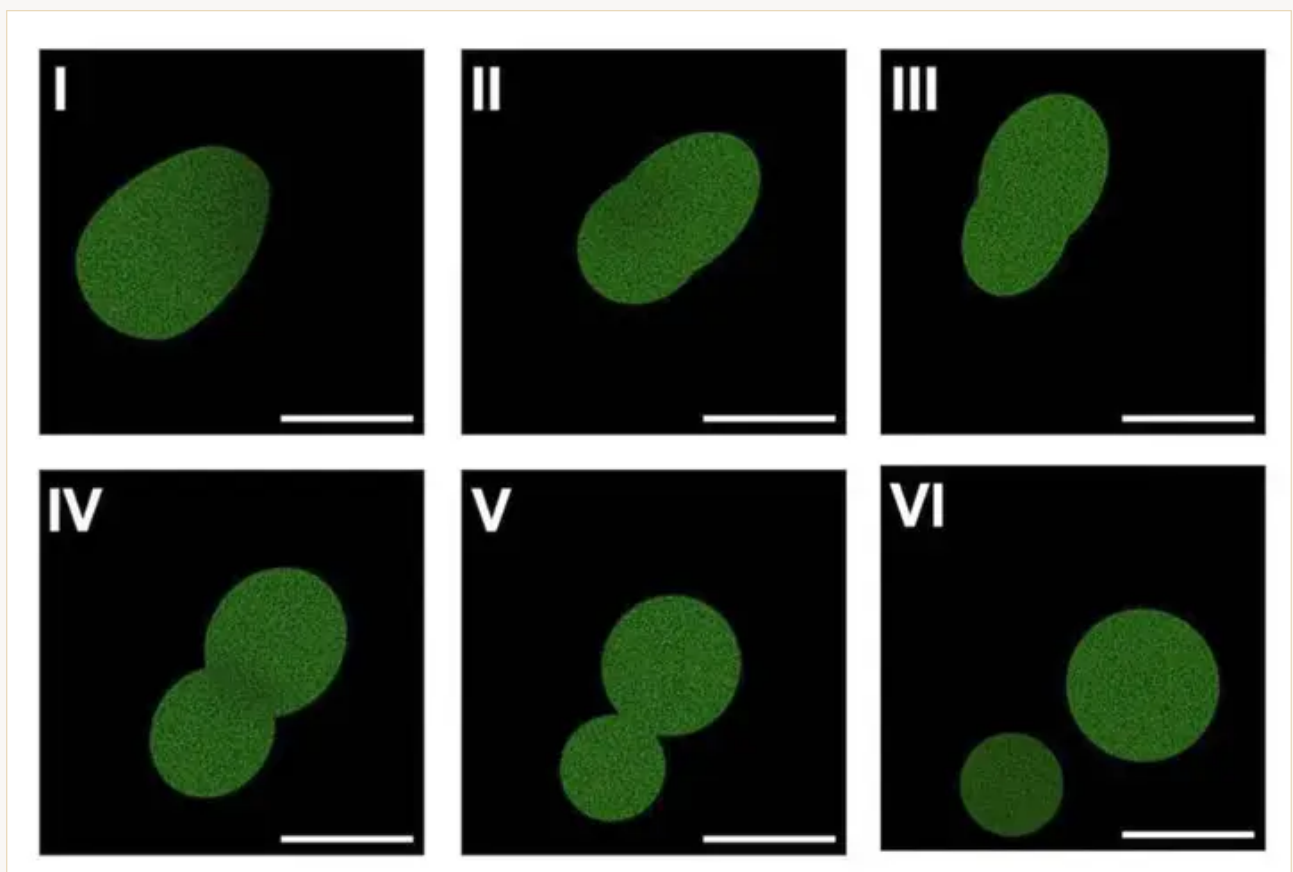
무엇이 스스로 돌아가고, 무엇이 그렇지 않은가

헤드라인에서 가장 많은 무게를 짚어진 단어는 완전한이다. 논문에서 “완전한 세포주기”는 먹기, 복제, 성장, 분열이라는 작동 단계를 한 시스템 안에서 재구성하고 함께 측정했다는 뜻이다. 세포가 자급자족한다는 뜻은 아니다. 두 가지 한계가 중요하며 저자들도 둘 다 명시한다.

첫째, 세포는 **자기 단백질 제작 기계를 만들 수 없다**. 리보솜과 대부분의 효소는 세포가 만드는 것이 아니라 미리 정제해 공급하고 먹여준다. 저자들의 표현으로도 이 시스템의 대사는 매우 제한적이며 리보솜을 만들지 못한다. 진짜 대사적 독립성을 얻으려면 훨씬 큰 유전체가 필요하다. 즉 방울은 세포주기를 돌리지만, 생화학 전체를 바닥부터 자기 힘으로 돌리지는 않는다.

둘째, 다섯 세대 실험에서 평소 사용하는 분열은 **기계적**이다. 방울을 가는 필터로 밀어 통과시켜 나누는데, 안정적으로 딸 방울을 얻을 수 있기 때문에 선택한 방법이다. 더 세포다운 유전자 구동 분열 — 세포가 만든 단백질이 스스로 분열을 유도하는 방식 — 은 별도로 시연됐다. 하지만 외부에서 추가한 성분인 가교 시스템 (스트렙타비딘과 링커) 이 필요하고 수율도 낮았다. 저자들은 더 안정적이고 수율이 높고 제어 가능한 분열이 아직 필요하다고 분명히 쓴다. 아마도 이 세포에는 아직 없는 합성 내부 골격이 필요할 수 있다.

그래서 그림에서도 두 종류의 분열을 따로 표시한다. 헤드라인의 다섯 세대 주기는 기계적 분할을 쓰고, 유전자 구동 분열은 유망하지만 아직 취약한 별도 추가 기능이다.



저자 호스팅 프리프린트의 형광현미경 연속 이미지로, 유전자 구동 분열 시연에서 한 합성세포가 길어지고 두 방울로 갈라지는 모습을 보여준다. 이 이미지는 분열 결과를 논평하기 위한 공정이용으로 해상도를 낮춰 재현했다. 위의 주요 증거 연쇄 그림은 이 시연을 다섯 세대 실험에 사용한 기계적 분할과 분리해서 보여준다.

Kate Adamala, Adamala Lab Fair use

선택은 맞지만, 자발적 진화는 아니다

선택 결과는 우아하며 정확하게 말할 가치가 있다. 더 강한 먹이 섭취 “켜짐 스위치” 라는 유리한 변화가 세포를 더 빨리 자라게 하고, 그 세포가 더 많은 자손을 남기므로 변화가 퍼진다. 유전되는 차이에 실제 선택이 작용했다.

하지만 그 변화가 스스로 생겨난 것은 아니다. 연구진이 넣었다. 저자들의 표현대로 유리한 돌연변이는 집단 안에서 자발적으로 나타난 것이 아니라 인위적으로 도입됐으며, 이는 자연적인 다윈 진화와 다르다. 돌연변이가 시스템 안에서 스스로 생기게 하는 것은 미래 과제로 적혀 있다. 따라서 자원 경쟁과 선택은 맞다. 열린 형태의 자발적 진화는 아직 아니다.

이것이 증명하지 않는 것

- 비생명 화학물질에서 세포를 만들었다는 것을 **보여주지 않는다**. 구성요소는 살아 있는 생물에서 얻어 정제한 리보솜과 효소, 바이러스 복제 효소 같은 생물학적 부품이다. “화학적으로 정의됐다” 는 말은 전부 명확하게 규정됐다는 뜻이지 처음부터 단순 화학물질로 합성했다는 뜻이 아니다. 논문 자체의 Figure 1 도 개별적으로 정제한 자연 성분에서 세포를 조립했다고 설명한다.
- 자급자족 생물을 **보여주지 않는다**. 세포는 자기 리보솜을 만들거나 자기 대사를 돌릴 수 없고, 공급된 기계와 공급 방울에 의존한다.
- 자발적 진화를 **보여주지 않는다**. 유리한 돌연변이는 시스템이 만든 것이 아니라 연구진이 도입했다.
- 안정적인 유전체 유전을 **보여주지 않는다**. 다섯 세대 뒤 전체 유전체를 온전히 유지한 세포는 소수였다.
- 표준 분열 방식이 세포 자체에 의해 구동된다는 것을 **보여주지 않는다**. 반복적인 다섯 세대 주기에는 기계적 분할을 쓰며, 유전자 구동 분열은 수율이 낮고 외부 도움을 받는다.
- 동료평가를 받지 **않았다**. 프리프린트다. *Science* 의 보도에 따르면 *Cell* 에서 거절된 적이 있고 다른 곳에서 동료평가가 진행 중이라고 한다. 구체적인 숫자는 잠정적으로 봐야 한다.

근거는 얼마나 탄탄한가?

중앙의 공학적 주장에 대해서는 증거가 직접적이고 상당하다. 저자들은 정의된 합성 방울 안에서 세포주기의 작동 단계들을 함께 돌렸고, 시스템 자신의 유전자 발현과 연결했으며, 여러 주기에 걸쳐 반복했다. 아직 프리프린트이긴 하지만 이 주장은 범위가 명확하고 시험 가능하며 정량화된 시연으로 뒷받침된다.

대사적 독립성이나 자발적 진화가 없다는 점을 “실패한 주장” 이나 “낮은 확신의 주장” 으로 볼 이유는 없다. 저자들은 그런 능력이 있다고 주장하지 않는다. 오히려 현재 없다고 명시하거나 미래 과제로 적는다. 이는 논문이 실제로 보고하는 결과의 신뢰도를 깎는 것이 아니라, 여기서 “완전한 세포주기” 가 무엇을 뜻하는지 정하는 경계다.

따라서 주요 불확실성은 이 연구가 자율적 생명을 만들었느냐가 아니다. 보고된 공학적 성능이 얼마나 견고하고 재현 가능한가. 동료평가와 독립 재현이 있기 전까지 정확한 세대 수, 유전체 유지 비율, 분열 수율은 잠정적이다. 적절한 신뢰도는 세포주기 작동을 한 시스템에 통합했다는 데에는 높고, 정확한 성능 수치에는 더 낮으며, 생명·자급자족·자발적 진화 주장은 애초에 범위 밖이라고 보는 것이다.

대중용 이야기가 무엇을 더하며, 왜 그게 중요한가

여기서 흥미로운 간극은 논문과 현실 사이가 아니다. 논문과 그 주변에 만들어진 홍보 패키지 사이에 있다. 원고 자체는 이 경계를 신중히 다룬다. 과장 위험은 결과가 “살아 있는 세포”, “자급자족 세포”, “무에서 만든 생명”으로 압축될 때 생긴다. 이런 헤드라인의 과잉 해석을 교정하는 것은 논문이 하지도 않은 주장을 이유로 논문의 수준을 낮추는 것과 다르다.

원고 자체의 언어는 절제돼 있다. 생명에 필요한 최소 구성요소를 향한 한 단계, 미래 시스템을 위한 가능한 “새시”, “완전 인공 생물체를 위한 기반”이라고 부르고, 큰 응용에는 궁극적으로, 가능할 수 있다 같은 말로 단서를 붙인다. 반면 미네소타대학교 보도자료는 “완전한 생애주기를 가진 세계 최초 합성세포”가 생물학을 “혁명적으로 바꿀 수 있다”는 문장으로 시작하고, 세포를 비생명 성분에서 만들었다고 묘사하며 의학·재료·산업 전반의 응용을 나열한다. 단서도 있기는 하지만 돌파구 프레임이 먼저 나온 뒤라 브레이크 역할을 하기 어렵다.

그렇다고 악의를 가정할 필요는 없다. 동료평가 전에 결과를 공개하는 것은 정당하고 심지어 관대한 선택일 수 있다. 다른 연구실이 방법을 더 빨리 검토하고 재현을 시도할 수 있게 해준다는 것이 저자들이 든 이유다. 유명 저널에서 거절됐다는 사실이 곧 연구가 약하다는 뜻도 아니다. 야심차고 틀렸을 때 철회 위험이 큰 결과는 실제로 출판하기 어렵고, 다른 팀에게 선수를 빼앗길 두려움도 현실적이다. 이런 압력은 인간적이고 이해할 만하다.

하지만 바로 소통이 그렇게 크고, 또 동료평가 전에 이뤄졌기 때문에 정확성의 의무는 줄어드는 것이 아니라 커진다. 순서가 핵심이다. 보도자료는 가장 넓은 해석을 먼저 선택하고 한계를 뒤에 붙인다. 더 정확한 순서는 반대다. 먼저 증거와 연구 상태를 밝힌 뒤 야심을 이야기해야 한다. “야심보다 증거와 상태를 먼저”라는 습관은 이번 “돌파구” 뿐 아니라 다음 돌파구 기사를 읽을 때도 쓸 수 있다.

핵심 요약

미네소타대학교 연구팀은 약 9만 염기의 유전체와 정제된 단백질 제작 시스템을 가진 지방질 방울로 완전히 정의된 합성세포를 보고했다. 이 방울은 공급 방울과 융합해 먹이를 받고, DNA를 복제하고, 자라고, 다섯 세대에 걸쳐 분열한다. 연구진이 도입한 유리한 유전 변화는 선택을 통해 집단에서 퍼졌고, 먹이 섭취와 분열 모두 세포 자신의 유전자로 구동될 수 있음을 별도로 보여줬다. 하지만 부품은 무에서 합성한 단순 화학물질이 아니라 정제된 생물학적 구성요소이고, 세포는 자기 리보솜을 만들거나 자기 대사를 돌릴 수 없다. 반복적인 다섯 세대 분열은 기계적 방식이며, 유전자 구동 분열은 수율이 낮고 외부 도움을 받는다. 유리한 돌연변이는 자발적으로 생긴 것이 아니라 연구진이 넣었고, 전체 유전체의 유전도 불완전하다. 연구는 프리프린트이며 아직 동료평가를 받지 않았다.

과장 없이 보면

논문이 보여주는 것: 공급 방울과의 유전자 부호화 융합으로 먹이를 받고, 약 90 kbp 유전체를 복제하고, 성장하고, 다섯 세대에 걸쳐 분열하는 정의된 합성 방울. 별도의 유전자 구동 분열 시연과, 부족한 자원 조건의 경쟁을 포함해 연구진이 넣어준 유리한 돌연변이에 선택이 작용하는 결과.

동료평가 전이라 잠정적인 것: 정확한 세대 수, 분열 수율, 전체 유전체를 유지하는 세포의 비율, 그리고 전체 주기가 다른 연구실에서도 얼마나 견고하고 재현 가능한지.

보여주지 않는 것: 비생명 화학에서 만든 세포, 자급자족 생물, 자발적 돌연변이나 열린 다윈 진화, 유전체의 안정적 유전, 표준 메커니즘으로서의 세포 구동 분열, 보도자료에서 언급된 의학·재료·산업 응용의 준비 상태.

주요 한계: 아직 동료평가 없음. 대사적 독립성 없음 (리보솜과 효소를 공급). 헤드라인의 반복 주기는 기계적 분열을 사용. 유전자 구동 분열은 수율이 낮고 추가 성분이 필요. 유전체 유전이 불완전함.

일반 독자는 어느 정도 확신해도 되는가? 중앙 공학 결과, 즉 정의된 합성 방울 안에서 세포주기의 작동 단계들을 한 시스템으로 함께 돌렸다는 데에는 상당히 높은 확신을 가져도 되지만 아직 동료평가를 기다리고 있다. 정확한 세대 수, 분열 수율, 유전율에는 동료평가와 독립 재현 전까지 중간 ~ 낮은 확신이 적절하다. 논문은 이 시스템이 살아 있고 자급자족하며 스스로 진화한다고 주장하지 않는다. 그것들은 낮은 확신의 결과가 아니라 범위 밖의 주장이다. 적절한 태도는 알려진 부품에서 세포를 구축하는 인상적인 한 걸음으로 보되, 생명을 창조했다고 부르지 않는 것이다.

게시 후 업데이트

• 명확화 • 2026-07-23

신뢰도 표현을 명확히 했다. 살아 있고 자급자족하며 스스로 진화하는 세포는 낮은 확신의 결과가 아니라 논문 주장 범위 밖이다. 중앙 공학 결과에 대한 평가는 바뀌지 않았다.

출처

Gaut, Deich, Cash, Hoog, Engelhart & Adamala —‘A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication’, author-hosted preprint (not peer-reviewed), 2026

<https://biotic.org>

Science —news coverage of the synthetic-cell preprint (2026)

<https://doi.org/10.1126/science.zwa8dvz>

University of Minnesota —press release

<https://twin-cities.umn.edu/news-events/worlds-first-synthetic-cell-complete-life-cycle-could-revolu>