

GNG CELL · 세포외소포(엑소좀) 기반 동물용 의약품 개발 전문기업

사람 세포로 만든 엑소좀을 반려견에게 반복 주사하면 어떻게 될까요

국제 학술지에 실린 원숭이 반복 주사 실험을 쉬운 말로 정리했습니다. 실제로 측정된 사실과 아직 확인되지 않은 추정을 구분해 표기했습니다.

3번째 주사부터

몸이 엑소좀을 겨냥한 항체를 만들기 시작했습니다

42분 → 6분

엑소좀이 혈액에 머무는 시간이 짧아졌습니다

기억된 면역

처음 만난 반응이 아니라, 학습을 끝낸 뒤의 반응이었습니다

출처 : Driedonks TAP 등, J Extracell Biol 2022;1:e59 · 2024;3:e129 (DOI 10.1002/jex2.59, 10.1002/jex2.129)

2026. 09.

① 왜 반응할까

1. 몸이 「남의 것」을 알아보는 과정

- 1** 사람 엑소솜 표면에는 사람만의 단백질 표시가 붙어 있습니다
제대혈 · 줄기세포 · iPSC 등 어떤 사람 세포에서 만들어도 공통입니다 — 추정
- 2** 개의 면역계가 이 표시를 「내 몸의 것이 아니다」라고 인식합니다
파수꾼 세포가 조각을 잡아 사령관 세포에게 보여 줍니다 — 추정
- 3** 면역계가 엑소솜만 겨냥하는 항체(IgG)를 만듭니다
원숭이 실험에서는 3번째 주사 뒤부터 실제로 검출되었습니다 — 측정됨
- 4** 항체가 엑소솜에 붙어 「먹어도 되는 것」이라고 표시합니다
표시된 엑소솜은 청소 담당 면역세포가 빠르게 먹어 치웁니다 — 측정됨
- 5** 결과적으로 엑소솜이 혈액에 머무는 시간이 짧아집니다
주사 횟수가 늘수록 더 짧아졌습니다 · 주사량보다 횟수가 더 큰 영향 — 측정됨

2. 같은 종끼리 vs 다른 종 사이

몸이 알아볼까	같은 종 : 표시가 거의 같아 잘 알아보지 못합니다 / 다른 종 : 표시가 달라 알아볼 수 있습니다 (개에서는 아직 미확인)
면역 회피 신호 (CD47)	같은 종 : 「나를 먹지 마라」 신호가 제대로 통합니다 / 사람→개 조합에서 이 신호가 통하는지는 확인되지 않았습니다
항체가 생길까	같은 종 : 공여자를 겨냥한 반응 보고 있음 / 다른 종 : 3번째 주사부터 엑소솜 전용 항체 검출 (원숭이 실측)
혈액에 머무는 시간	같은 종 : 비교 데이터 없음 / 다른 종 : (36~42분) → (11분) → (9분) → (6분)으로 회차마다 짧아졌습니다

쉽게 말하면 같은 종에서 얻은 엑소솜은 몸이 「내 것과 비슷하다」고 보아 조용히 지나칩니다. 다른 종에서 온 엑소솜은 첫 두 번은 그냥 지나가지만, 세 번째부터 몸이 알아보고 대응을 시작합니다. 개에서 직접 측정한 결과는 아직 없고, 원숭이 실험과 면역학의 일반 원리에서 추정한 부분이 섞여 있습니다.

◎ 핵심 : 문제가 되는 것은 「사람 세포에서 왔다」는 사실 그 자체가 아니라, 그것을 여러 번 반복해서 주사할 때 몸이 학습한다는 점입니다.

② 실험 내용

1. 어떤 실험이었나

● 실험 설계

동물	돼지꼬리원숭이 2마리 (수컷, 3~4세)
엑소좀	사람 세포(Expi293F)에서 만든 엑소좀 · 형광으로 추적할 수 있게 표지
주사 방법	주로 정맥 주사 · 2주 간격 · 모두 5회 (2024년 논문은 4회)
주사량	회차마다 5배씩 늘렸습니다 (700억 개 → 9조 개)

● 관찰된 것 — 핵심은 「엑소좀 전용 항체」

- 엑소좀 전용 항체(IgG)는 3번째 주사 뒤 검출, 4번째 뒤에는 매우 뚜렷했습니다
- 초기 항체(IgM)는 오르지 않았습니다 — 이미 학습이 끝난 상태였다는 뜻입니다
- 전체 항체량은 변하지 않았습니다 → 늘어난 것은 엑소좀을 겨냥한 항체뿐입니다
- 열 · 통증을 일으키는 급성 염증 신호물질은 늘지 않았습니다
- 주사된 엑소좀은 주로 비장에 모였고, 면역세포인 B세포와 결합했습니다

출처 : Driedonks TAP 등, J Extracell Biol 2022;1:e59 · 2024;3:e129

2. 서로 다른 두 개의 시계

● 시계 A — 「분」 단위 : 제거는 주사 직후 몇 분 안에 끝납니다

처음 주사할 때 (항체 생기기 전)		36~42분
엑소좀 전용 항체가 생긴 뒤		약 11분
그 다음 회차		약 9분
가장 많은 양을 반복 주사		약 6분

42분에서 6분으로 약 7배 짧아진 이유는, 이미 혈액을 돌고 있던 항체가 주사 직후 엑소좀에 달라붙어 곧바로 비장으로 넘기기 때문입니다. 하루 뒤가 아니라 몇 분 안에 벌어지는 일입니다.

● 시계 B — 「주」 단위 : 항체는 회차를 거듭하며 쌓입니다

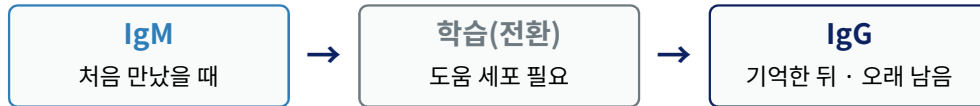
1회 없음	2회 없음	3회 검출	4회 증가	5회 증가
----------	----------	----------	----------	----------

- 항체가 많아진 시점과 머무는 시간이 짧아진 시점이 정확히 겹칩니다
- 많은 양을 처음부터 주사한 개체는 2번 만에 항체가 검출되었습니다

◎ 두 시계를 헷갈리지 마세요 : 항체가 만들어지는 데는 몇 주가 걸리지만, 그 항체가 엑소좀을 제거하는 데는 몇 분이면 충분합니다.

③ 항체 읽기

1. 면역계는 두 단계로 배웁니다



● IgM — 처음 만났을 때 나오는 항체

언제 나오나	처음 만난 뒤 5~7일에 등장, 7~10일쯤 정점을 지나 빠르게 사라집니다
무엇을 하나	덩어리 모양이라 보체라는 공격 장치를 잘 불러옵니다
이 실험에서는	오르지 않았습니다 — 다만 채혈 시점 때문에 놓쳤을 가능성이 있습니다

● IgG — 학습을 끝낸 뒤 나오는 항체

언제 나오나	학습이 끝난 뒤 등장하고, 주사를 거듭할수록 양이 쌓입니다
무엇을 하나	엑소좀에 붙어 「먹어도 된다」 고 표시합니다 (청소 세포가 제거)
이 실험에서는	3번째 주사부터 검출 · 많이 희석해도 검출될 만큼 뚜렷했습니다

출처 : Driedonks TAP 등, J Extracell Biol 2022;1:e59 · 2024;3:e129
IgM · IgG의 일반적 성질은 표준 면역학 교과서 지식입니다

2. IgG만 올랐다는 것의 의미

● 세 가지를 알 수 있습니다

- IgG가 있다는 것 자체가 면역계의 정식 학습 과정이 작동했다는 증거입니다
- 회차마다 IgM이 새로 오르지 않았다 = 매번 「이미 기억하고 있는 것」 으로 처리됩니다
- 급성 파괴가 아닙니다 — 염증 신호가 없었고, 조용히 먹어 치우는 방식이었습니다

● 기존에 알려진 사례와 결정적으로 다른 점

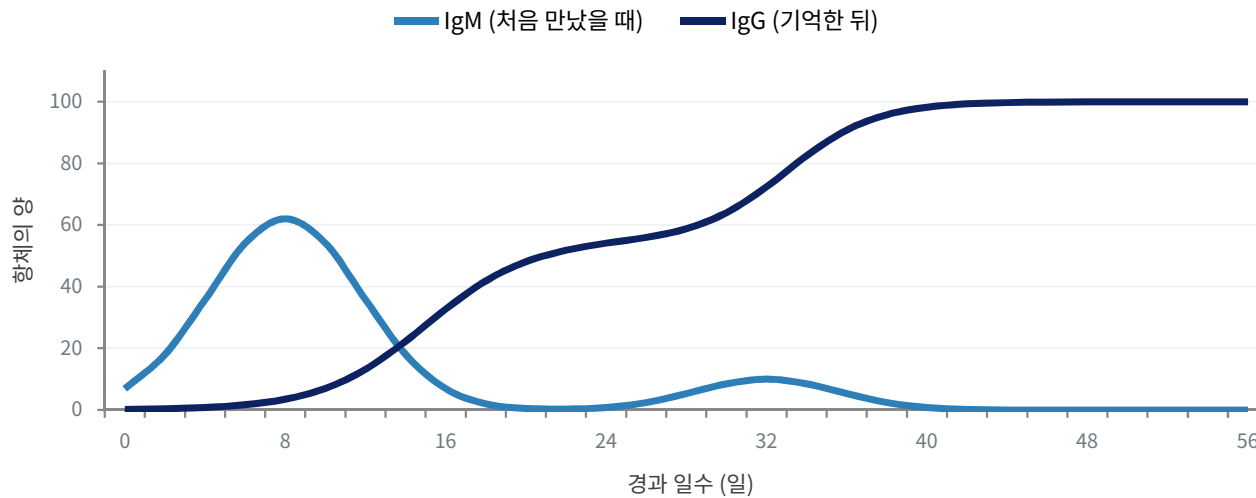
약물 코팅 (PEG) 사례	초기 항체(IgM)가 주역입니다 → 주사 간격을 넓히면 상당 부분 피할 수 있습니다
사람 엑소좀 (이번 실험)	기억 항체(IgG)가 주역입니다 → 기억은 사라지지 않으므로 간격 조절로는 피하기 어렵습니다

결론 IgG만 올랐다는 것은 「아직 덜 익은 초기 반응」 이 아니라, 오히려 **학습이 완전히 끝난 성숙한 기억 반응**이라는 뜻입니다. 그래서 주사 간격을 벌리는 방식으로는 해결되지 않습니다.

◎ 문제의 성격 : 갑작스러운 알레르기가 아니라, 반복할수록 조금씩 효과가 새어 나가는 문제입니다. 해법은 주사 간격 조정이 아니라 같은 종에서 얻은 엑소좀입니다.

④ 곡선 읽기

1. 시간에 따른 항체의 양



처음 주사
IgM이 먼저

학습(전환)
두 곡선 교차

IgG 유지
기억 상태

다시 주사
IgG만 급증

읽는 법 처음 만났을 때는 IgM이 먼저 올라 7~10일쯤 정점을 지나 사라집니다. 학습을 거친 IgG가 그 자리를 대신하고, 다시 만나면 IgM 없이 IgG만 더 빠르고 더 높이 오릅니다.

2. 이 그림이 알려 주는 것

● 곡선이 말하는 것

- IgM의 봉우리는 처음 만났을 때만 큼니다 — 학습이 끝난 뒤에는 다시 나타나지 않습니다
- 두 곡선이 교차하는 구간이 바로 면역계가 학습을 끝내는 시점입니다
- 다시 만나면 IgG가 더 빠르고 더 높이 오릅니다 = 기억 세포가 다시 깨어난 것입니다

● 이번 실험은 어디를 본 것일까

오른쪽 절반만 본 것입니다. 3번째 주사부터 IgG가 검출되고 IgM은 오르지 않았다 — 이미 학습이 끝난 뒤의 구간을 보고 있었다는 뜻입니다.

⚠ 채혈 시점의 한계

혈액은 주사 24시간 뒤에만 뽑았습니다. 초기 항체가 오르는 7~10일은 아예 확인하지 못했습니다.

이 곡선은 표준 면역학의 개념도입니다. · 출처 : Driedonks TAP 등, J Extracell Biol 2022;1:e59 · 2024;3:e129

◎ 반복 주사에 대입하면 : 주사를 거듭할수록 항체는 쌓이고 엑소좀이 머무는 시간은 짧아집니다 — 42분에서 6분으로 줄어든 것이 이 곡선의 실제 결과입니다.

⑤ 정리

1. 반복 주사에서 확인된 것

지금 상황	사람 유래 엑소좀을 동물에게 쓰는 사례가 국내외에 이미 존재합니다.
몸의 인식	사람 엑소좀 표면의 단백질이 개에게 낯선 것으로 인식될 수 있습니다. 다만 이는 추정이며, 개에서 직접 확인된 것은 아닙니다.
측정된 위험	원숭이 반복 정맥 주사에서 3번째 주사부터 엑소좀 전용 항체가 생기고, 혈액에 머무는 시간이 36~42분에서 약 6분으로 줄었습니다. 주사량보다 횟수가 더 큰 영향이었습니다.
효과는?	몸에 남는 양이 줄면 효과도 줄어든다고 보는 것이 자연스럽지만, 이는 아직 측정된 것이 아니라 추정입니다.
의미	반복 주사를 전제하는 순간, 효과와 안전성을 데이터로 증명해야 하는 책임이 생깁니다.

반복 주사가 필요한 질환이라면, 같은 종에서 얻은 엑소좀을 쓰는 것이 합리적인 선택입니다.

2. 「몇 개를 넣었는지」가 왜 중요한가

표기 현황	엑소좀 입자 수를 표기하는 회사는 손에 꼽을 정도이고, 대부분은 표시하지 않습니다. (Particles / mL)
진짜 차이	표기 여부보다 어떻게 썼는지(측정 조건), 효능 지표와 연결되는지, 생산할 때마다 같은 값이 나오는지 공개하는지가 실질적 차이를 만듭니다.
숨은 함정	입자 수 대신 단백질 무게나 부피로만 적으면, 엑소좀에 담기지 않은 맨 상태의 유전물질이 섞여 있을 가능성을 배제하기 어렵습니다.
왜 문제인가	엑소좀 막의 보호를 받지 못한 맨 유전물질(free-miRNA)은 혈액 속 분해 효소에 빠르게 끊어지고, 목표 세포까지 도달하는 효율도 낮습니다.
개발 관점	입자 수 기준 없이 제품을 정의하면 효능 · 체내 거동 · 재현성 · 허가 설명력이 모두 약해집니다.

경쟁력은 「입자 수를 적었는지」가 아니라 어떻게 썼고 매번 같은 값이 나오는지 공개하는 수준에서 갈립니다.

◎ GNG CELL은 개에게서 얻은 개 전용 엑소좀을 쓰고, 입자 수를 정확히 세어 표기합니다.

반복 주사를 전제로 한 설계에서 증명 부담을 낮추고, 정량 · 재현성 · 허가 설명력에서 차이를 만들기 위한 정공법입니다.